



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

ANNA KOOTTA

Markkinaehtoinen kysyntäjousto jakeluverkkoyhtiössä

ENERGIA- JA YMPÄRISTÖTEKNIIKAN
KOULUTUSOHJELMA
2020

Tekijä Koota, Anna	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2020
	Sivumäärä 50	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Markkinaehtoinen kysyntäjousto jakeluverkkoyhtiössä		
Tutkinto-ohjelma Energia- ja ympäristötekniikka		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Työ- ja elinkeinoministeriö linjasi vuonna 2018, että jakeluverkkoyhtiöiden toteuttamasta kuormanohjauksesta luovutaan hallitusti ja siirrytään markkinaehtoiseen dynaamisempaan kulutuksen ohjaukseen viimeistään 30.4.2021.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää markkinaehtoisen kysyntäjoustop vaikutukset jakeluverkkoyhtiössä. Työn tavoitteena oli selvittää mahdolliset tekniset muutokset ja prosessimuutokset sekä tutkia linjauksen aikataulua ja etenemistä. Lisäksi tavoitteena oli tarkastella kysyntäjoustop soveltuvien järjestelmien tämänhetkistä markkinatilannetta Suomessa. Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Pori Energia Sähköverkot Oy.</p> <p>Työ aloitettiin tutustumalla jakeluverkkoyhtiöiden nykyisin toteuttamaan kuormanohjaukseen. Lisäksi selvitystä varten haastateltiin toimeksiantajan työntekijöitä. Haastatteluiden tarkoituksena oli kerätä mielipiteitä ja mahdollisia huolenaiheita. Samalla ne toimivat infona linjauksesta.</p> <p>Lopputuloksena syntyi selvitys työn toimeksiantajalle. Selvitykseen on kerätty jakeluverkkoyhtiötä koskeva oleellinen tieto kysyntäjoustopista ja sitä voidaan tarvittaessa päivittää. Jatkossa jakeluverkkoyhtiön olisi kannattavaa seurata aktiivisesti valmisteluiden etenemistä ja lainsäädäntötyön valmistumista.</p>		
Asiasanat AMR, kuormanohjaus, kulutusjousto, kysyntäjousto		

Author Koota, Anna	Type of Publication Bachelor's thesis	Date May 2020
	Number of pages 50	Language of publication: Finnish
Title of publication Market-based demand response in a distribution network company		
Degree program Energy and Environmental Engineering		
<p>Abstract</p> <p>In 2018, the Ministry of Economic Affairs and Employment decided that the load control by distribution companies shall be phased out in a controlled manner and that a transition to market-based, more dynamic control of consumption be made at the latest on 30 April 2021.</p> <p>The purpose of this thesis was to determine the effects of market-based demand response in a distribution network company. The aim of the study was to determine possible technical changes and process changes, and to explore the timetable and progression of the alignment. In addition, the aim was to examine the current market situation of systems suitable for demand response in Finland. The thesis was commissioned by Pori Energia Sähköverkot Oy.</p> <p>The study started by familiarizing with the load control currently carried out by the distribution network companies. In addition to, the mandator's employees were interviewed for the study. The purpose of the interviews was to gather opinions and potential concerns. At the same time, they serve as information on the alignment.</p> <p>The result was a report for the mandator. It contains relevant information on demand response for a distribution network company and may be upgraded if necessary. In the future, it would be worthwhile for the distribution network company to actively monitor the progress of preparations and the completion of legislative work.</p>		
<p>Keywords</p> <p>AMR, load control, demand response</p>		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 PORI ENERGIA SÄHKÖVERKOT OY	9
3 KUORMANOHJAUS.....	10
3.1 Kuormanohjauksen toimintaperiaate	10
3.2 Lainsäädäntö ja suositukset.....	11
3.3 Kuormanohjauksen toteutus PESV:ssä.....	12
4 KYSYNTÄJOUSTO.....	14
4.1 Yleistä	14
4.2 Vaikutukset jakeluverkkoyhtiölle	15
4.3 Euroopan Unionin direktiivit	16
5 LINJAUKSEN TAVOITETILA.....	18
5.1 Aggregaattorit	18
5.2 Jakeluverkkoyhtiön rooli.....	19
5.3 Tarvittavat muutokset ja tiedonvaihdtarpeet.....	20
5.4 Aikataulu	20
6 TEKNISET TOTEUTUSMAHDOLLISUUDET	22
6.1 Nykyiset AMR-mittarit	25
6.2 Seuraavan sukupolven AMR-mittarit	26
6.3 AMR-ohjauksen hyvät ja huonot puolet	28
6.4 Rajapinnan toteutus.....	29
6.5 Rajapinnan vaatimukset	31
7 MARKKINATILANNE SUOMESSA	32
7.1 Fortum Fiksu Energiaseuranta	32
7.2 There Suora ja There Varaava.....	33
8 LINJAUKSEN VALMISTELUN ETENEMINEN	36
8.1 Energiateollisuus ry.....	36
8.2 Telia ja Aidon.....	37
9 HAASTATTELUT	40
10 YHTEENVETO	43
11 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	46
LÄHTEET	

TERMIT JA LYHENTEET

Aggregaattori	Sähkömarkkinatoimija, joka kerää asiakkaiden sähköntuotantoa, kulutusta ja varastointia suuremmiksi kokonaisuuksiksi ja tarjoaa näiden jouston sähkömarkkinoille.
AIM	Active Information Management, mittaustietojen luontajärjestelmä
AMR	Automatic Meter Reading, etäluenta
API	Application Programming Interface, ohjelmointirajapinta
BACS	Building Automation and Control Systems, kiinteistöautomaatiojärjestelmä
Datahub	Sähkön vähittäismarkkinoiden keskitetty tiedonvaihtojärjestelmä, johon tallennetaan tietoja Suomen sähkönkäyttöpaikoista.
ET	Energiateollisuus ry
HEMS	Home Energy Management System, energianhallintajärjestelmä
KMP	Kulutusmittauspalvelu
Kysyntäjousto	Myös kulutusjousto. Asiakkaan sähköenergian käytön tilapäistä muuttamista käyttöajankohdan normaalin tai sen hetkisen profiilin osalta sähkönhinnan tai muun kannustimen perusteella.
MDM	Metering Data Management, mittaustiedonhallintajärjestelmä

PESV	Pori Energia Sähköverkot Oy
Rajapinta	Standardin mukainen menetelmä, joka mahdollistaa tietojen siirron ohjelmien, laitteiden tai käyttäjien välillä.
RF	Radio Frequency, radiotaajuus
Tariffi	Vahvistettu, virallinen maksu- ja hintaluettelo
TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö
Älyverkko	Digitalisaatiota hyödyntävä älykäs sähköverkko, johon on liitetty sähköntuotantoa ja -kulutusta sekä sähkövarastoja. Älyverkko mahdollistaa kuluttajan osallistumisen sähkömarkkinoille paremmin.

1 JOHDANTO

Jakeluverkkoyhtiöiden toteuttamalla kuormanohjauksella on pyritty tähän mennessä tasaamaan kuormituksen vaihtelua ja välttämään liian suuret kuormituspiikit sähkön siirto- ja jakeluverkossa. Tämän kaltainen sähkön aikaohjaus ei kuitenkaan enää vastaa tämän päivän ja tulevaisuuden tarpeita. Uusiutuvan energian tuotanto on lisääntynyt ja jatkaa kasvuaan myös tulevaisuudessa. Vastaavasti kulutuksen vaihteluihin kykenevän energian tuotannon osuus pienenee. Sähkön tuotantorakenne on siis koko ajan vaihtelevampaa ja säästä riippuvaista mikä tarkoittaa sitä, että sähkömarkkinoiden tilanne muuttuu aiempaa nopeammin. Jatkossa olisikin tärkeää, että pystyttäisiin reagoimaan sähkömarkkinatilanteeseen mahdollisimman nopeasti. (Pahkala, Uimonen & Väre 2018a, 11–12.)

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) perusti syyskuussa 2016 työryhmän selvittämään älyverkkojen mahdollisuuksia sähkömarkkinoille. Kyseisen älyverkkotyöryhmän tehtävänä oli selvittää ja esittää konkreettisia toimia siitä, kuinka älykäs sähköjärjestelmä mahdollistaisi asiakkaiden osallistumisen paremmin sähkömarkkinoille ja edistäisi toimintavarmuuden ylläpitoa. (Pahkala, Uimonen & Väre 2018b, 4.) Työryhmään kuului sähkön myyjien, jakelijoiden, kuluttajien, viranomaisten ja tutkimuslaitosten edustajia. Tuloksena syntyi väliraportti 9.10.2017 ja loppuraportti 24.10.2018, jossa on täsmennetty ehdotuksia teetettyjen selvitysten ja väliraportista saadun palautteen perusteella.

Älyverkkotyöryhmän yhtenä tutkittavana aihealueena oli kysyntäjousto eli kulutuksen ohjaus. Sen tiimoilta loppuraporttiin syntyi keskeinen ehdotus siitä, että jakeluverkkoyhtiöiden toteuttamasta kuormanohjauksesta luovutaan hallitusti ja siirrytään markkinaehtoiseen dynaamisempaan kulutuksen ohjaukseen viimeistään 30.4.2021 (Pahkala ym. 2018b, 13.)

Opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa selvitys tulevasta markkinaehtoisesta kysyntäjousta Pori Energia Sähköverkot Oy:lle. Selvityksestä laaditaan erillinen sisäinen asiakirja toimeksiantajalle. Työn tavoitteena on selvittää älyverkkotyöryhmän linjauksen vaikutukset jakeluverkkoyhtiölle: mitä mahdollisia teknisiä muutoksia ja prosessimuutoksia linjaus tuo tullessaan, millainen on aikataulu sekä kenelle ja miten lähetettäisiin asiakasviestintää. Muita työssä tarkasteltavia aiheita ovat nykyinen kuormanohjaus, kysyntäjousta tekniset toteutusmahdollisuudet, tämänhetkinen markkinatilanne Suomessa ja kuinka linjauksen valmistelu etenee. Lisäksi selvitystä varten haastatellaan toimeksiantajan työntekijöitä eri osastoilta. Haastatteluiden tarkoituksena on kartoittaa mielipiteitä ja mahdollisia huolenaiheita, ja ne toimivat samalla infona linjauksesta. Haastattelut nauhoitetaan, litteroidaan ja analysoidaan.

2 PORI ENERGIA SÄHKÖVERKOT OY

Pori Energia Sähköverkot Oy (PESV) on Porin alueella toimiva sähköverkkoyhtiö, jonka vastuualueena on sähkömarkkinalain mukainen sähköverkkoliiketoiminta (kuva 1). Yhtiö vastaa sähkön siirrosta ja jakelusta yli 52 000 verkon käyttäjälle, sähköverkkojen rakennuttamisesta sekä verkonhallinnasta. (Pori Energia Oy:n www-sivut 2019.)

PESV on Pori Energian Oy:n 100 % omistama tytäryhtiö. Yhtiö eriytettiin omaksi liiketoimintayksiköksi Pori Energia Oy:stä sähkömarkkinalain vaatimusten mukaisesti vuonna 2006. Vuonna 2018 PESV:n liikevaihto oli 25,3 miljoonaa euroa ja työntekijöitä yhtiössä oli 25. (Pori Energia Oy:n www-sivut 2019.)



Kuva 1. PESV:n jakeluverkkoalue (Pori Energia Oy:n www-sivut 2019)

3 KUORMANOHJAUS

Merkittävä osa kuluttaja-asiakkaiden joustoon soveltuvasta sähkönkulutuksesta on jakeluverkkoyhtiöiden kellonaikaan tai kalenterin mukaan sidotun kuormanohjauksen eli niin sanotun aikaohjauksen piirissä (Pahkala ym. 2018a, 11). Tyypillisesti ohjattavat kuormat koostuvat suorasta sähkölämmityksestä, varaavasta vesikiertoisesta sähkölämmityksestä, varaavasta tai osittain varaavasta lattialämmityksestä ja käyttövesivaraajista. Suorassa sähkölämmityksessä lämmöksi muutettu energia luovutetaan välittömästi, kun taas varaava sähkölämmitys varastoi lämpöenergian ja luovuttaa sitä tarpeen mukaan. Osittain varaava sähkölämmitys on sekoitus suorasta ja varaavasta järjestelmästä eli järjestelmässä hyödynnetään varauskykyä ja tarvittaessa käytetään suoraa lämmitysjärjestelmää. Aikaohjauksessa olevan sähkönkulutuksen arvioidaan olevan yli 1000 MW, pääasiassa sähkölämmitys- ja lämminvesivaraajakuormaa. Tekninen ohjauspotentialiaali on kuitenkin moninkertainen tähän verrattuna. (Pahkala ym. 2018a, 11.)

3.1 Kuormanohjauksen toimintaperiaate

Jakeluverkkoyhtiöiden nykyisin toteuttama kuormanohjaus on aikatariffiin eli aikasähköön sidottua. Jos asiakkaalla on sähkön siirtotuotteena aikasähkö, laskutetaan klo 22–07 välisenä aikana kulutettu sähkö yösähkön hinnalla. Koska sähkön siirtohintaa on öisin edullisempaa kuin päivisin, kannattaa sähkönkäyttö ajoittaa yöaikaan. Joissakin yhtiöissä on aikasähkön lisäksi tarjolla myös kausisähköohjaus, joka on sidottu kalenteriin. Kausisähkössä talvipäivän sähkön siirtohintaa on kalliimpaa kuin muuna aikana. (Isoviita henkilökohtainen tiedonanto 19.11.2019.)

Kuormanohjauksella voidaan siirtää esimerkiksi varaava sähkölämmitys käynnistymään klo 22 jälkeen. Käyttöpaikkakohtainen kuormanohjaus tapahtuu etäluettavan mittausjärjestelmän kautta. Sähkömittari vastaanottaa ja välittää komentoja viestintäverkon kautta ja siten mahdollistaa kuormanohjausreleen aktivoinnin. Yöaikaan siirryttäessä, mittarilla oleva kuormanohjausrele kytkee päälle sen taakse asennetut laitteet. Jotta kuormanohjauksista ei syntyisi liian suurta tehopiikkiä sähkön jakelu- ja

siirtoverkossa, verkkoyhtiö toteuttaa ohjaukset porrastetusti. (Isoviita henkilökohtainen tiedonanto 19.11.2019.)

3.2 Lainsäädäntö ja suositukset

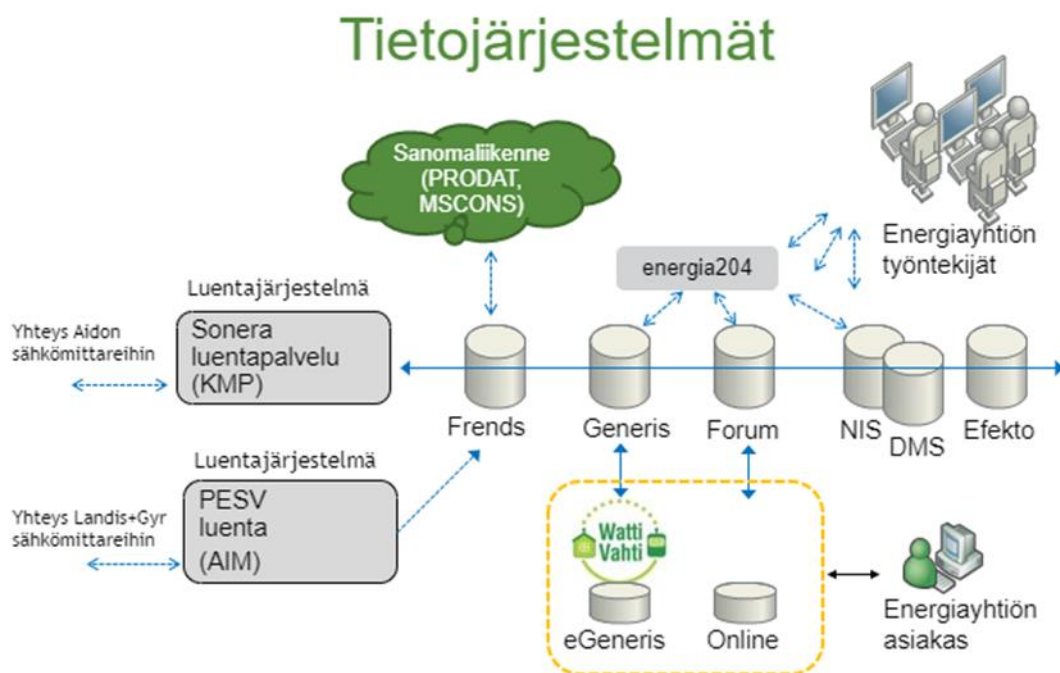
Sähkömarkkinalain 22. pykälässä sanotaan, että verkonhaltijan on mittauspalvelua järjestäessään pyrittävä edistämään verkon käyttäjien tehokasta ja säästäväistä sähkönkäyttöä sekä sähkönkäytön ohjausmahdollisuuksien hyödyntämistä (Sähkömarkkinalaki 588/2013, 22 §). Tähän pyritään myös valtioneuvoston asetuksessa sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta. Kyseisen mittausasetuksen mukaan vuoden 2013 loppuun mennessä vähintään 80 % verkonhaltijan käyttöpaikoista sekä kaikki yli 3 x 63 A:n käyttöpaikat ja tuotantokohteet tuli olla tuntimittauksen piirissä ja mittalaitteiston etäluettava (Asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta 66/2009, 2 luku 2 §). PESV onnistui ylittämään mittausasetuksen tavoitteen ja siirsi vuoden 2013 loppuun mennessä noin 96 % käyttöpaikoistaan etäluennan piiriin (Mäkinen 2014). Mittausasetuksen mukaan asennetun laitteiston on kyettävä vastaanottamaan ja toteuttamaan tai välittämään eteenpäin viestintäverkon kautta lähetettäviä kuormanohjauskomentoja (Asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta 6 luku 5 §). Tällä kohdalla pyritään edistämään muun muassa tehopulatilanteiden hallintaa ja kysyntäjousto-ohjausten käyttöönottoa.

Koska mittausasetus ei sisällä linjauksia ohjausten tekniselle toteutukselle, Energiateollisuus ry (ET) on antanut suosituksia ja ohjeita liittyen kuormanohjaukseen. Kanta-verkkoyhtiö Fingridin verkonhaltijoille antaman ohjeistuksen mukaan yökuormat kytketään porrastetusti päälle tehopiikin pienentämiseksi. Fingridin ohjeen mukaisesti ET suosittelee, että kuormien porrastus ajoitetaan vähintään yhden tunnin jaksolle. Käyttöpaikan mittalaitteelle on voitava ohjelmoida etänä yökuormien ohjausviiveitä ja -aikoja sekä mahdollisia kysyntäjoustoa palvelevia ohjaustoimintoja. Tariffiin perustuva kuormanohjaus ei ole siis sidoksissa tariffin alkamisaikaan. Tapa kuinka ohjausviive toteutetaan, on verkonhaltijan määriteltävissä. (Tuntimittauksen periaatteita 2016, 20.)

Käyttöpaikan mittalaitteistossa tulee olla vähintään yksi kuormanohjaukseen käytettävissä oleva ohjauslaite eikä sitä saa varata muuhun tarkoitukseen. Kuorman ohjaaminen on kuitenkin myös mahdollista toteuttaa ilman erillistä relettä mittalaitteen rajapintojen kautta eikä sen tarvitse olla mittarista riippuvainen. Tämä onnistuisi esimerkiksi hyödyntämällä taloautomaatiojärjestelmiä. ET suosittelee mittalaitteiden varustamista kahdella ohjaustarkoituksiin varatulla releellä tai muulla tekniikalla, jolla kaksi ohjausta voidaan toteuttaa sähkölämmityskohteissa, joissa on sekä suoraa että varaavaa lämmitystä. Toinen rele on varattu yökuormanohjaukselle ja toinen mahdollisille kysyntäjousto- ja kuormanpudotusohjauksille. Kohteet, joissa on vain varaava lämmitys tai ei ole tariffiohjausta, riittää yksi ohjausrele tai muu vaihtoehtoinen tekniikka. Mittarinvaihdon yhteydessä suositellaan säilyttämään ohjausmahdollisuudet. ET suosittelee lisäksi varustamaan mittalaitteet etäkatkaisu- ja kytkentätoiminnolla erityisesti kohteisiin, joissa on paljon sopimusmuutoksia. Katkaisulaitteen avulla voidaan erottaa sähköliittymä kokonaan etäohjauksena valvomosta käsin tai paikallisesti. (Tuntimitauksen periaatteita 2016, 20.)

3.3 Kuormanohjauksen toteutus PESV:ssä

PESV:llä on aikasähkön piirissä tällä hetkellä käyttöpaikkoja noin 12 300, mutta aivan kaikissa ei kuitenkaan ole sähkömittarin takana ohjattavia kuormia (Mäkitalo henkilökohtainen tiedonanto 31.10.2019). PESV:llä on käytössään Aidonin toimittamat etäluettavat mittarit 3 x 36 A:n ja sitä pienemmissä käyttöpaikoissa. Telia vastaa näiden mittareiden luentapalvelusta ja lähettää tiedot kulutusmittauspalvelun eli KMP:n kautta PESV:lle. Yli 3×63 A käyttöpaikkojen kulutustiedot luetaan PESV:n itse hoitamasta AIM-palvelusta. (Seppälä 2014, 14.) Mittareiden etäluentaan liittyvät tietojärjestelmät on esitetty kuvassa 2.



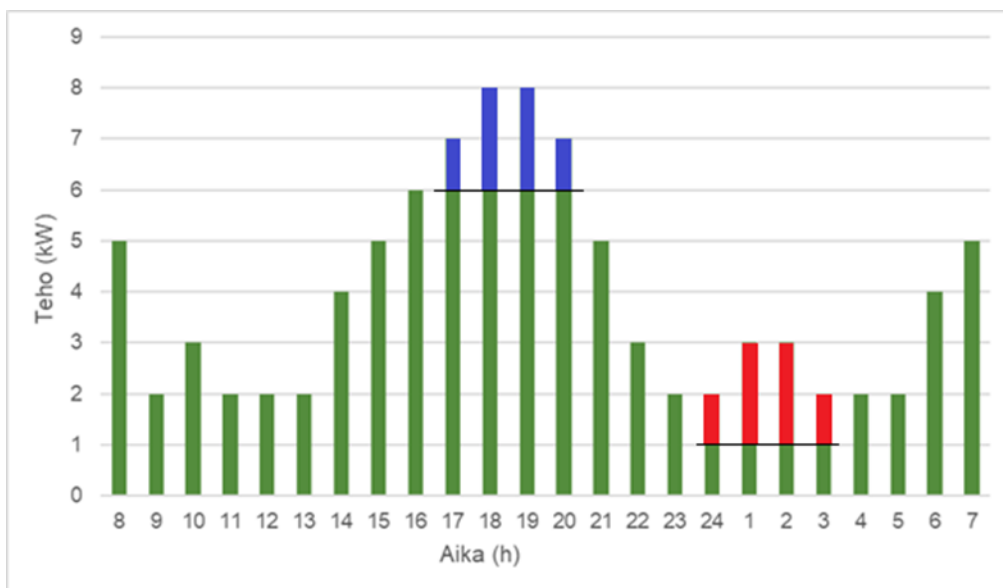
Kuva 2. Etäluennan tietojärjestelmät PESV:ssä (Mäkinen 2016, 4)

Sähkömittarit ohjaavat varaavat kuormat käynnistymään satunnaisviiveellä. Tämä viive kestää maksimissaan 60 minuuttia eli varaavat kuormat kytkeytyvät päälle klo 22–23 välisenä aikana. Satunnaisviiveellä halutaan välttää kuormien samanaikainen kytkentä sähköverkkoon, joka johtaa verkon ylikuormittumiseen ja aiheuttaisi häiriöitä tai sähkökatkon. Asiakkaita, joilla on sähkön siirtotuotteena aikasähkö, laskutetaan normaalisti klo 22–07 välisenä aikana kulutettu sähkö yösähkön hinnalla sopimuksen mukaisesti. (Mäkinen sähköposti 29.8.2019.) Kuormanohjauksen suhteen PESV noudattaa siis alan ohjeistusta ohjausviiveestä.

4 KYSYNTÄJOUSTO

4.1 Yleistä

Suomessa kysyntä- eli kulutusjousto on toteutettu tyypillisesti isojen teollisuuslaitosten ja paljon sähköä käyttävien julkisten toimijoiden kanssa. Kysyntäjouston avulla sähkönkulutusta voidaan siirtää tehohuipuista edullisempiin ajankohtiin kuvan 3 mukaisesti. Vastaavasti sähkönkulutusta on mahdollista lisätä sähkön kysynnän kuoppien ja edullisen energiahinnan ajankohtiin. Kysyntäjousto on siis sähkön käyttötottumusten muuttamista, jonka tehtävänä on tasapainottaa verkkoa. Se muodostaa moniulotteisen kokonaisuuden, joka sisältää erilaisia markkinapaikkoja ja teknisiä toteutusmahdollisuuksia, ajallisesti vaihtelevia kuormia sekä esimerkiksi tiedonhallintaan ja lainsäädäntöön liittyviä kysymyksiä. (Järventausta ym. 2015, 17–18.)



Kuva 3. Sähkön kysyntäjouston periaate

Kysyntäjouston eri toimintojen merkitys ja tarve vaihtelevat sen mukaan kenen näkökulmasta niitä tarkastellaan. Kantaverkkoyhtiölle se tarjoaa mahdollisuuden käyttö- ja häiriöreservien osalta tehotasapainon hallintaan ja taajuuden säätöön. Kysyntäjouston myötä saadaan myös mahdollisesti joustavuutta tehopulatilanteiden hallintaan. Jakeluverkkoyhtiöt taas voivat hyödyntää kysyntäjoustoja verkon suunnittelussa ja reaaliaikaisessa käyttötoiminnassa. Sähkön vähittäismyyjän näkökulmasta kysyntäjousto

voi hyödyntää sähkön hankinnan suunnittelussa, tasevastaavana oman taseensa hallinnassa, säätösähkömarkkinoiden tarjouksissa sekä uusien tuotteiden ja oman liiketoiminnan kehittämisessä. Laite- ja järjestelmätoimittajat sekä palveluntarjoajat saavat uusia tuote- ja liiketoimintamahdollisuuksia, joita edelleen kuluttaja-asiakkaat pääsevät hyödyntämään. Kysyntäjousto tarjoaa kuluttajille mahdollisuuden käyttää sähköä silloin kun se on edullista. (Järventausta ym. 2015, 3.)

4.2 Vaikutukset jakeluverkkoyhtiölle

Kuluttajien kuormituksia ohjattaessa tietyn signaalin perusteella, esimerkiksi sähkön markkinahinnan, vähenee kuormien risteily. Tämä taas kasvattaa verkon tehoja. Samankaltaista ohjausta on käytetty tähän mennessä yösähköllä toimivien varaavien kuormien yhteydessä, mikä näkyy verkossa kuormituksen kasvuna iltaisin. Jos varaavan lämmityksen lisäksi otetaan ohjauksen piiriin myös suora sähkölämmitys, voi verkon huippukuormitus kasvaa entisestään. Simuloinneissa, jotka suoritettiin erään suomalaisen verkkoyhtiön jakeluverkkoalueella, todettiin että verkon huipputehot kasvavat, kun kuormia ohjataan markkinaperusteisesti. Vaikutukset verkostoon eivät olleet riippuvaisia optimointijakson pituudesta ja niitä esiintyi myös kaikilla verkkotasoilla. Tehtiin ohjaukset sitten spot-, reservi- tai säätömarkkinoiden mukaan, kasvoivat tehot kaikissa tapauksissa. (Järventausta ym. 2015, 35.)

Simuloinnit kuitenkin osoittivat, että tehopohjaiset siirtotariffit tasoittavat markkinaperusteisten ohjausten vaikutuksia verkon tehojen kasvuun. Jotta markkinaperusteisesta ohjauksesta saatava hyöty ei poistuisi verkon kapasiteettitarpeen kasvamisena ja siten korkeampina siirtomaksuina, pidetään tehopohjaista hinnoittelua edellytyksenä kokonaistehokkuuden toteutumiseksi. Osassa nykyisistä AMR-mittareista on valmius ohjattavan tehorajoituksen käyttöönottoon, mutta tehopohjainen hinnoittelu voidaan toteuttaa myös ilman kyseistä ominaisuutta. (Järventausta ym. 2015, 35.)

Nykyisten kuormitusten lisäksi simuloinneissa testattiin maalämpöpumppujen, pien-
tuotannon ja sähköautojen vaikutuksia. Ei-sähkölämmitteisten kiinteistöjen siirtymisen maalämpöpumppulämmitykseen kasvattaa verkon tehoja. Simuloinneissa havaittiin, että lämpöpumppujen kuormituksen kasvu vaikuttaa merkittävästi verkon

jännitetasoihin. Pientuotannon osalta tarkasteltiin vastaavasti aurinkopaneeleiden vaikutuksia. Pientuotanto ei pienennä huipputehoa, vaikka kuluttaja ottaa verkosta vähemmän energiaa. Sähköautojen vaikutukset taas riippuvat logiikasta, jolla niiden latausta ohjataan. Ohjaamattomasti tehtävät lataukset kasvattavat verkon kuormaa, mutta eivät vaikuttaisi merkittävästi jakeluverkon mitoitukseen. Jos taas sähköautojen latausta ohjataan verkon kuormituksen mukaisesti, on se mahdollista toteuttaa niin ettei sillä ole vaikutusta verkon huipputehoihin. Sähköautojen lataus on yksi merkittävä kysyntäjoustoressurssi ja jos autojen akuista on mahdollisuus syöttää tehoa verkkoon päin, voidaan niitä käyttää energiavarastoina. (Järventausta ym. 2015, 35–36.)

4.3 Euroopan Unionin direktiivit

Euroopan Unioni on säätänyt kysyntäjoustopuolia koskevia direktiivejä vuodesta 2009 lähtien ja TEM:n älyverkkotyöryhmä on näitä direktiivejä noudattaen antanut omat linjauksensa kysyntäjoustopuolien toteutusta varten. Sähkön sisämarkkinoiden sääntöjä koskevan Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2009/72/EY tarkoituksena on näyttää suuntaa tulevaisuuden sähkömarkkinoille ja sähkösiirtoverkkojen haltijoiden tehtäville. Direktiivin 12. artikla velvoittaa siirtoverkonhaltijan olemaan vastuussa siitä, että kysyntäjoustopuolien edellyttämät palvelut ovat saatavilla ellei niiden saatavuus ole riippuvainen toisesta siirtoverkosta. (Direktiivi 2009/72/EU, 70.)

Energiatohokkuusdirektiivin 15. artiklassa pyritään vastaavasti edistämään sähkön sisämarkkinoita koskevassa direktiivissä esitettyä kysyntäjoustopuolia. Jäsenvaltioiden on poistettava sellaiset siirto- ja jakelutariffien kannustimet, jotka voivat haitata kysyntäjoustopuolien käyttöä markkinoiden tasapainottamisessa ja lisäpalvelujen hankinnassa. Lisäksi on varmistettava, että direktiiviä 2009/72/EY noudattaen tariffit sallivat toimittajille mahdollisuuden edistää kuluttajien osallistumista kysyntäjoustopuolien. 15. artiklan kohdassa kahdeksan veloitetaan myös energia-alan sääntelyviranomaiset edesauttamaan kysyntäjoustopuolien osallistumista tukku- ja vähittäismarkkinoille. Siirtoverkonhaltijoiden ja jakeluverkonhaltijoiden on kohdeltava kysyntäjoustopuolista vastaavia tahoja syrjimättömin perustein. (Direktiivi 2012/27/EU, 22–23.)

Vuonna 2019 säädettiin sähkömarkkinadirektiiviin uusia velvoitteita jakeluverkkoyhtiöille, jotka kannustavat jouston käyttöön. Jakeluverkonhaltijat velvoitetaan hankkimaan taajuuteen vaikuttamattomat lisäpalvelut syrjimättömien ja markkinapohjaisten menettelyjen perusteella. Tuotteiden ja palvelujen hankinnassa on varmistettava, että kaikki vaatimukset täyttävät markkinaosapuolet voivat osallistua syrjimättömästi. Lisäksi sääntelyviranomaiset ja jakeluverkonhaltijat määrittävät yhteistyössä markkinaosapuolten sekä siirtoverkonhaltijoiden kanssa kyseisten markkinoiden teknisten ominaisuuksien ja kaikkien markkinaosapuolten valmiuksien pohjalta tekniset vaatimukset osallistumiselle näille markkinoille. (Direktiivi 2019/944, 158–160.)

Ehdotus jakeluverkkoyhtiöiden kuormanohjauksesta luopumiseksi vaatisi muutoksia Suomen nykyiseen lainsäädäntöön. Muutoksia tarvitsisi tehdä sähkömarkkinalain perusteella annettuun valtioneuvoston asetukseen sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta ja mahdollisesti myös itse sähkömarkkinalain aikajaotusta koskeviin säännöksiin. (Pahkala ym. 2018b, 13.)

5 LINJAUKSEN TAVOITETILA

Älyverkkotyöryhmän linjauksen mukaan kuluttajalla on mahdollisuus osallistua kysyntäjoustoon itse tai itsenäisen aggregaattorin eli palveluntarjoajan avulla. Kuluttajasiakkaiden sähkönkulutuksen ohjaaminen on kilpailtua liiketoimintaa, ja markkinoilla toimivien palveluyritysten avulla asiakkaat pääsevät osallistumaan helposti eri markkinapaikoille, esimerkiksi vuorokausi- ja reservimarkkinoille. Koska muutos jakeluverkkoyhtiöiden kulutuksenohjauksen luopumisesta on merkittävä, tulee sen tapahtua hallitusti. Tämä edellyttää, että kulutuksenohjauspalveluita on riittävän kattavasti tarjolla. (Pahkala ym. 2018b, 13–14.)

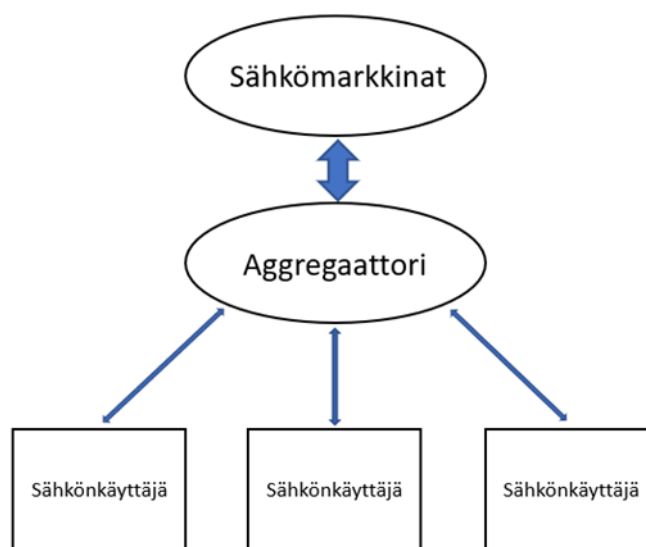
Jakeluverkkoyhtiöiden suorista ohjauksista luopumisen tavoitteena onkin luoda mahdollisuuksia joustopalveluiden tarjoajille lisäämällä kuluttajan valinnanmahdollisuuksia. Samalla eri osapuolten roolit sähkömarkkinoilla ja asiakasrajapinnassa selkeytyvät. Kun joustopalveluiden markkinat kasvavat, syntyy uusia liiketoimintamahdollisuuksia palvelutoimittajille ja teknologiateollisuudelle. (Pahkala ym. 2018b, 12.)

Nykyisen kaltaista aikaohjausta voidaan kuitenkin halutessaan jatkaa. Palveluntarjoajan on tiedotettava asiakkaitaan tästä mahdollisuudesta ja sovittava asiasta asiakkaiden ja jakeluverkkoyhtiön kanssa. Selkein tapa olisi, jos palveluntarjoaja ilmoittaisi asiakkaalle muutoksesta ajoissa ja sopisi jakeluverkkoyhtiöiden kanssa nykyisen aikaohjauksen jatkamisesta niiden asiakkaidensa osalta, joille se on paras vaihtoehto. Ohjauspalvelu loppuu viimeistään 30.4.2021, jos asiakkaan palveluntarjoaja ei sovi jakeluverkkoyhtiön kanssa ohjauksen jatkamisesta. (Pahkala ym. 2018a, 18.)

5.1 Aggregaattorit

Aggregaattori on markkinaosapuoli, joka mahdollistaa myös pienten asiakkaiden osallistumisen sähkömarkkinoille kuvan 4 kaltaisesti. Aggregaattori yhdistää asiakkaiden kulutusta, tuotantoa ja varastoja isommaksi kokonaisuudeksi ja vie sen eri markkinapaikoille. Sähkönmyyjä voi olla aggregaattori, mutta aggregaattori voi olla myös itsenäinen ja erillinen toimija. Itsenäinen aggregaattori ei ole asiakkaan sähkönmyyjä tai tasevastaava, eikä tarvitse sopimusta heidän kanssaan toimiessaan markkinoilla. Tällä

hetkellä itsenäisen aggregaattorin toiminnasta ei ole selkeitä sääntöjä ja sen muille toimijoille aiheuttamista vaikutuksista on vielä paljon avoimia kysymyksiä. Esimerkiksi tasejakson aikana aggregaattorin toimet voivat vaikuttaa tasevastaavan vastuisiin ja kustannuksiin. Tästä syystä itsenäisen aggregaattorin mallia tulee arvioida tarkemmin. Erityisesti eri osapuolten välisiä vaikutuksia ja tasapuolisuutta. Itsenäinen aggregaattori voi toimia kaikilla markkinapaikoilla, kunhan taataan tasapuolinen kohtelu. Kaikkien aggregaattoreiden on tasesääntöjen mukaisesti vastattava tasevirheestään ja toteutus on myös voitava todentaa. (Pahkala ym. 2018a, 17–18.)



Kuva 4. Esimerkki kaksisuuntaisesta tiedonsiirrosta eri toimijoiden välillä (mukaiillen Pahkala ym. 2018b, 17)

5.2 Jakeluverkkoyhtiön rooli

Sähkömarkkinoilla on tärkeää erottaa monopolitoiminta ja markkinaehtoinen toiminta toisistaan. Sähköverkkotoiminta on monopolitoimintaa ja on eriytetty lain mukaisesti sähköntuotannosta ja -myynnistä. Jakeluverkkoyhtiöiden roolina onkin toimia puolueettomina markkinoiden mahdollistajina sekä tarjota yhteys sähköjärjestelmään ja markkinapaikalle. Jakeluverkkoyhtiöt luovat teknisen alustan ja rajapinnan, jonka kautta palveluntarjoajat muodostavat varsinaiset ohjauskäskyt. Rajapinnan toteutusta tarkastellaan tarkemmin tämän opinnäytetyön luvussa 6. Lisäksi jakeluverkkoyhtiön tehtävänä on toimittaa markkinoiden ja asiakkaiden tarpeisiin liittyvät keskeiset tiedot. (Pahkala ym. 2018b, 13–29.)

Jakeluverkkoyhtiöt eivät vaikuta sähkömarkkinoiden toimintaan ohjaamalla suoraan sähköntuotantoa tai -kulutusta, mutta voivat kuitenkin ohjata kuormia suoraan omista tarpeistaan tietyissä poikkeustilanteissa. Poikkeustilanteiksi katsotaan esimerkiksi merkittävä häiriö jakeluverkossa ja valtakunnallinen tehopula. Jakeluverkkoyhtiöt voivat myös hyödyntää kysyntäjoustoja verkon tarpeisiin. Hyödyntääkseen kysyntäjoustoja jakeluverkkoyhtiön on ostettava sitä markkinoilta avoimin ja syrjimättömin periaattein. (Pahkala ym. 2018a, 12–13.)

5.3 Tarvittavat muutokset ja tiedonvaihdon tarpeet

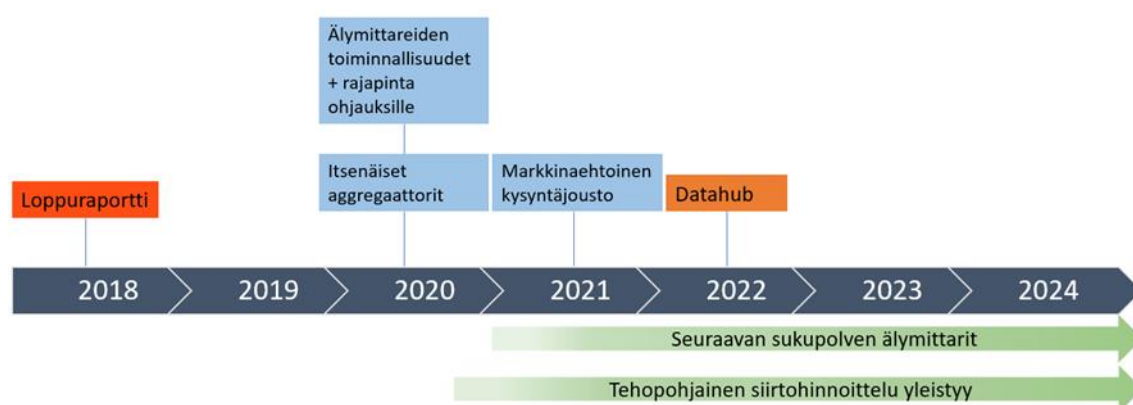
Jakeluverkkoyhtiöiden kuormanohjauksista luopuminen vaikuttaa etenkin aikaohjauksen piirissä oleviin asiakkaisiin. Muutoksen tulisi olla saumaton ja ratkaisuja kulutuksenohjauksen toteutuksiin riittävästi. Erittäin tärkeässä osassa ovat aktiivinen ja reaaliaikainen viestintä sekä neuvonta. Kuten aiemmin lainsäädäntöä tarkastellessa todettiin, myös lainsäädäntöön tarvitsee tehdä muutoksia aikajaottelusta luopumiseksi. (Pahkala ym. 2018a, 13.)

Se kuinka joustopalvelun ostaminen olisi tasavertainen vaihtoehto jakeluverkkoyhtiöille, on älyverkkotyöryhmän mukaan selvitettävä. Markkinaehtoinen jousto tulisi toteuttaa jakeluverkon fyysisiä rajoituksia rikkomatta. Verkon käytön vaarantuessa jakeluverkonhaltijoilla on mahdollisuus asettaa rajoitteita asiakkaalle tehtäviin ohjauksiin. Kysyntäjouston yleistyessä verkon kuormitus voi muuttua aiempaa nopeammin, mikä luo haasteita jakeluverkkojen toimintaan. Jotta voidaan taata sähköturvallisuus ja jakeluverkkojen tehokas käyttö, jakeluverkkoyhtiö voi tarvita ennustetietoa sähkön kulutuksesta ja tuotannosta tai tietoa reaaliaikamarkkinoilla aktivoituvasta joustosta. (Pahkala ym. 2018a, 14.)

5.4 Aikataulu

Älyverkkotyöryhmä määritteli kuormanohjauksesta luopumisen tapahtuvan viimeistään 30.4.2021. Aikataulu on luotu väliraportista saadun palautteen ja käytyjen jatkokeskustelujen perusteella. Se on myös sovitettu tuleviin muutoksiin

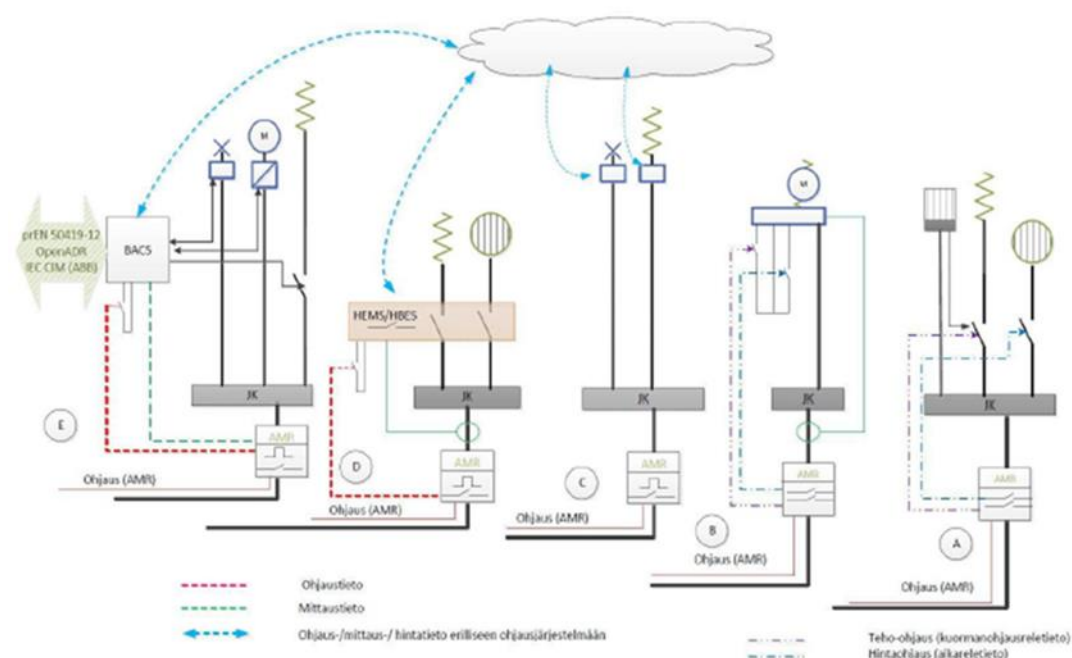
sähkömarkkinoilla, joista osa on esitetty kuvan 5 aikajanassa. Esimerkiksi datahubilla, joka on vähittäismarkkinoiden keskitetty tiedonvaihtoratkaisu, on merkittävä vaikutus vähittäismarkkinoihin ja tiedonvaihtoon keskittyviin ehdotuksiin. Suhteellisen nopean aikataulun aiheuttaa myös osaltaan nopeasti etenevät energiamuutokset sekä kuluttajien tarpeet saada sähköä toimitusvarmasti ja kustannustehokkaasti. Kysyntäjoustoja tarvitaan jo tälläkin hetkellä lisää. Lisäksi selkeä määräaika kannustaa palvelutarjoajia kehittämään uusia tuotteita. (Pahkala ym. 2018a, 17–18.)



Kuva 5. Aikajana liittyen älyverkkotyöryhmän ehdotukseen (mukaillen Pahkala ym. 2018b, 37)

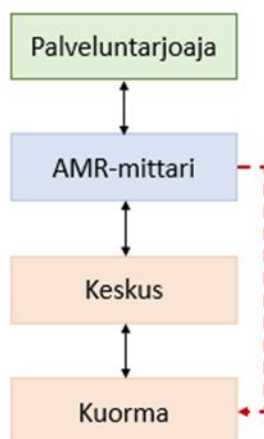
6 TEKNISET TOTEUTUSMAHDOLLISUUDET

Kiinteistöjen kuormia voidaan ohjata ainakin kolmella eri tavalla: hyödyntämällä AMR-mittarin eli etäluettavan mittarin kuormanohjausrelettä, erillisellä energianhallintajärjestelmällä (HEMS) tai kiinteistöautomaatiojärjestelmällä (BACS). Kuvassa 6 on esitetty mahdollisia toteutusmalleja kuormien ohjaamisesta. AMR-mittareiden kautta tapahtuvassa ohjauksen toteutuksessa on mukana jakeluverkkoyhtiö, kun taas erillisten automaatiojärjestelmien (HEMS, BACS) toteutus ei vaadi verkkoyhtiön osallistumista ohjaukseen. Standardoituja rajapintoja tai toimintamalleja ei ole vielä kuitenkaan luotu kumpaakaan vaihtoehtoon. (Järventausta ym. 2015, 19.)



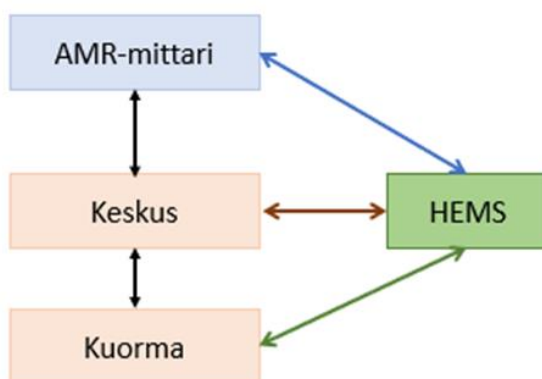
Kuva 6. Kuormanohjauksen toteutusmalleja (Järventausta ym. 2015, 20)

Kuormien ohjaus voidaan tehdä AMR-mittarin kuormanohjausreleen kautta kuvan 7 mukaisesti. Ohjaustieto menee tällöin jakeluverkkoyhtiön tarjoaman rajapinnan kautta mittarilta suoraan ohjattavalle kuormalle. Palveluntarjoajan ja AMR-luentajärjestelmän välisten rajapintojen kautta tapahtuu tiedonvaihto asiakkaan kuormitukseen ja mahdollisesti ohjaukseen liittyen esimerkiksi sopimuksista ja kuormien ohjattavuudesta. (Järventausta ym. 2018, 5.) On myös mahdollista tuoda ohjaussignaali AMR-mittarilta suoraan sähkölaitteen automatiikkaan eli sen omaan ohjausjärjestelmään (Järventausta ym. 2015, 19).



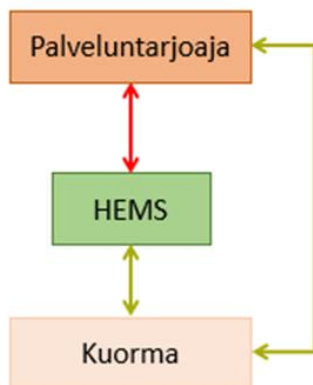
Kuva 7. Kuormien ohjaus AMR-mittarin kautta (mukaillen Järventausta ym. 2018, 5)

HEMS mittaa sähkönkulutusta ja saa ohjaustietoja erillisestä palvelusta. Saatujen tietojen avulla järjestelmä ohjaa laitteiden sähkön saantia. Järjestelmä voi olla asiakkaan itselleen hankkima. Kuvasta 8 nähdään, että HEMS:n ohjaamana kuormat voidaan ohjata eri rajapintojen kautta. AMR-mittarin 1-suuntaiseksi määritelty reaaliaikarajapinta on mahdollista avata 2-suuntaiseksi, jolloin mittarin kuormanohjausreleen taakse kytetyt kuormat voidaan ohjata paikallisen rajapinnan kautta. Tietoturvan asettamia haasteita on kuitenkin tämän toteutustavan kohdalla tarkasteltava tulevaisuudessa. Kaksisuuntainen ohjaus vaatii kansallisesti määritetyt tiedonsiirtorajapinnat. Ohjaus on myös mahdollista suorittaa HEMS:n ohjaamana sähkökeskukselle tuodun rajapinnan tai laitteen tarjoaman rajapinnan kautta. Nämä kaksi toteutustapaa toimivat irrallisina AMR-mittarista. (Järventausta ym. 2018, 5.)



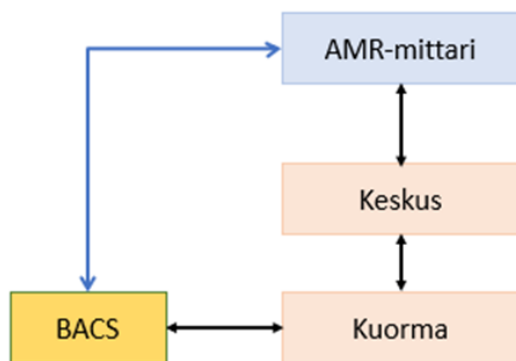
Kuva 8. Ohjaus HEMS:n suorittamana eri rajapintojen kautta (mukaillen Järventausta ym. 2018, 5)

Kuvan 9 kaltaisessa toteutuksessa palveluntarjoaja voi käyttää laitetaso tarjoamaa rajapintaa, jolloin ohjaussignaali kulkee suoraan sähkölaitteelle tai sen yhteydessä olevalle liittimelle. Palveluntarjoajan on myös mahdollista tarjota asiakkaalle omaa HEMS-järjestelmäänsä ja ohjata kuormat kyseisen järjestelmän kautta. (Järventausta ym. 2018, 5.)



Kuva 9. Kuormien ohjaus suoraan laitteelle tai HEMS-järjestelmän kautta palveluntarjoajan toimesta (mukaillen Järventausta ym. 2018, 5)

Kiinteistöautomaatiojärjestelmä BACS on responsiivinen hybridimalli, joka voi lukea mittaus- ja ohjaustietoja sekä suorittaa kuomanohjauksia. Samoilla ohjausjärjestelmillä se pystyy tekemään muutakin ohjausta. Ohjaustieto voidaan lähettää joko sähkö- tai tiedonsiirtoverkon kautta tai AMR-mittarin kautta (kuva 10). (Järventausta ym. 2015, 19.)



Kuva 10. Kuormanohjaus BACS-järjestelmän avulla (mukaillen Järventausta ym. 2018, 5)

Ohjaustavat voidaan jakaa kolmeen toteutustapaan seuraavasti riippuen minkä markkinapaikan näkökulmasta kuormaa hyödynnetään:

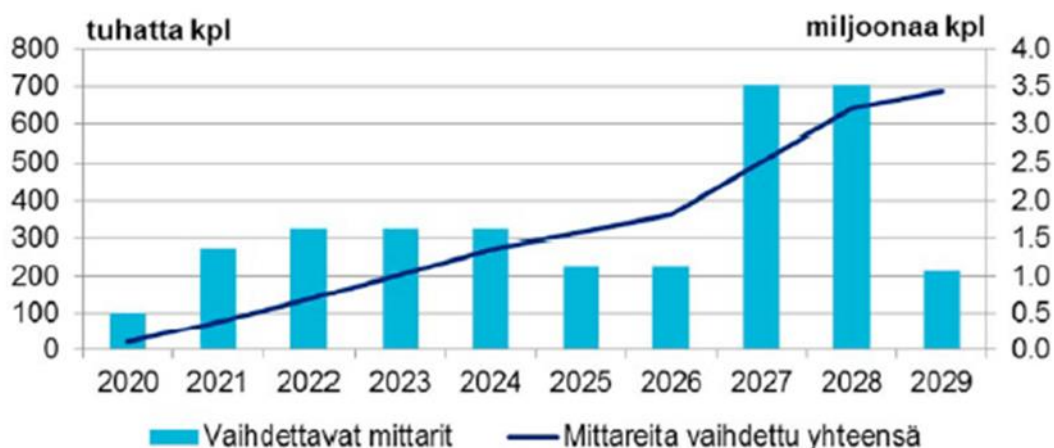
- Ennalta määritelty kalenteriohjaus eli AMR-mittarille ennakoon toimitettu releen ohjaussekvenssi eli asetusarvo
- Ad-hoc –ohjaus eli välitön kuormanohjaus palveluntarjoajan tarpeen mukaan
- Nopea paikalliseen mittaukseen pohjautuva kalenteriohjaus eli kuormanohjaus tapahtuu paikallisen logiikan mukaisesti (Järventausta ym. 2018, 5.)

6.1 Nykyiset AMR-mittarit

Etäluettavaa järjestelmää käytetään nykyään kuormien ohjaamiseen asiakkaan käytössä olevien tariffien mukaisesti merkittävässä määrin. Energiaviraston mukaan vuoden 2016 lopussa 99,6 % Suomen käyttöpaikoista oli etäluettavia (Pöyry 2017, 10). Tampereen teknillisen yliopiston tekemien analyysien ja kyselyjen perusteella AMR-mittareiden kautta on ohjattavissa yli 1 000 MW pääosin sähkölämmitys- ja lämminvesivaraajakuormaa. Olemassa olevaa AMR-infrastruktuuria onkin näistä syistä järkevää käyttää myös suoraan kuorman ohjaukseen siinä määrin kuin se on mahdollista. Nykyinen AMR –teknologia ei kuitenkaan riitä yksistään täyttämään tulevia vaatimuksia. Mittareiden ohjausten tulee sisältää fyysisiä kuormia ja osapuolten välinen mittaus- ja ohjaussignaalien välittäminen on oltava mahdollista. Kysyntäjoustossa mittareilta vaaditaan ohjauspotentiaalia ja jouston todentamiseen tarvittavia mittausominaisuuksia. Lisäksi tarvitaan kehittyneempiä ratkaisuja sähkömarkkinoiden vaatimiin riittävän nopeisiin ohjauksiin. Ennen uuden sukupolven älymittarin asennusta, palveluntarjoaja voi sopia ohjauksen toteuttamisesta asiakkaan ja jakeluverkkoyhtiön kanssa olemassa olevalla jakeluverkkoyhtiön infrastruktuurilla. (Järventausta ym. 2015, 21–36.)

Energiaviraston valvontamallissa, joka säätelee verkonhaltijoiden kohtuullista tuottoa, määritellään AMR-mittareiden pitoaikaväliksi 10–20 vuotta. Yhtiöiden pitoaika mittareille on keskimäärin 13,8 vuotta eli ensimmäiset tuntimittausvelvoitteen täyttäneet energiamittarit alkavat siis vanhenemaan. Tämä tarkoittaa sitä, että merkittävä määrä

uusia mittareita asennetaan jo 2020-luvun alkupuoliskolla, mutta arvioiden mukaan käyttöönotto tulee pääasiassa tapahtumaan vuosina 2022–2028 (kuva 11). (Pöry 2017, 15.) PESV asensi suurimman osan mittareistaan vuonna 2013. Jos siihen lisätään keskimääräinen pitoaika, tarkoittaa se uusien mittareiden asentamista vuosien 2026–2027 tienoilla PESV:n asiakkaille.



Kuva 11. Seuraavan sukupolven mittareiden vaihdon ajoittuminen (Pöry 2017, 84)

6.2 Seuraavan sukupolven AMR-mittarit

Seuraavan sukupolven älymittareihin siirtyminen on merkittävä investointi. Energiaviraston määrittämällä yksikköhinnoilla laskettuna mittalaitteiden investointikustannus on noin 700 milj. euroa. Lopullinen summa kasvaa entisestään, kun otetaan huomioon tietojärjestelmiin ja tietoliikenteeseen liittyvät investoinnit. On erittäin tärkeää ennen seuraavan sukupolven mittausjärjestelmän käyttöönottoa selvittää mittauslaitteiden ja -järjestelmien vaatimukset, käyttötarpeet ja mitä toiminnallisuuksia järjestelmän tulisi tukea. Älyverkkotyöryhmä pyysi Pöry Management Consulting Oy:tä selvittämään ja ehdottamaan seuraavan sukupolven älymittareiden ominaisuuksia. (Pahkala ym. 2018a, 60–61.) Selvityksestä syntyi raportti seuraavan sukupolven älykkäiden sähkömittareiden vähimmäistoiminnallisuuksista, joka julkaistiin 15.12.2017. Raportin perusteella älyverkkotyöryhmä loi omat ehdotuksensa ja suosituksensa tulevien AMR-mittareiden minimivaatimuksiksi.

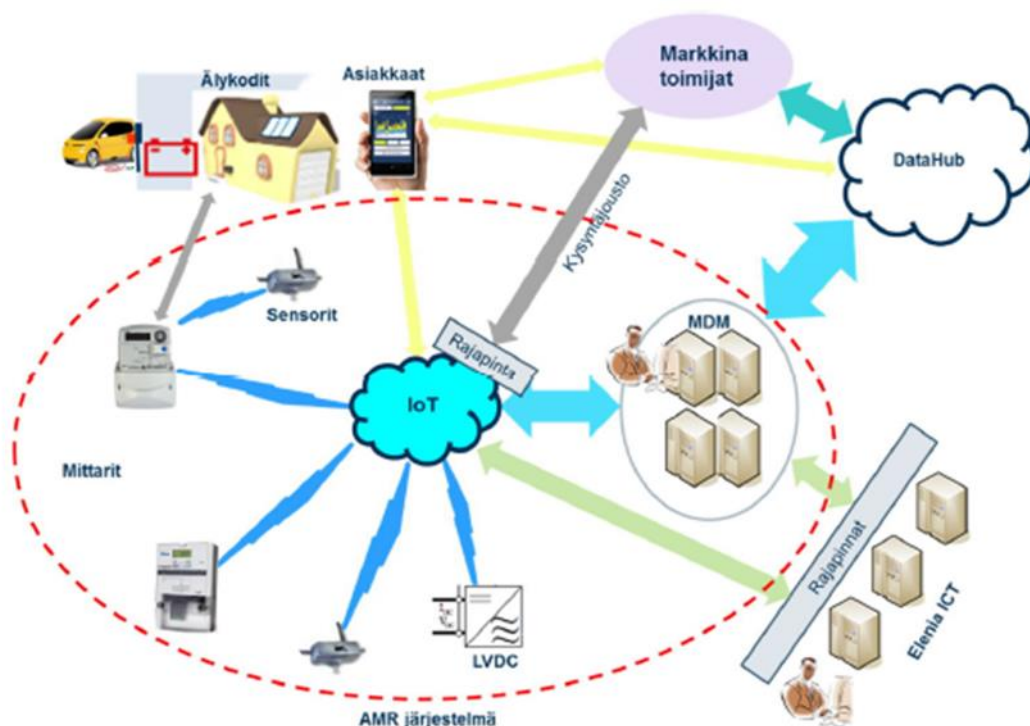
Älyverkkotyöryhmä ehdotti omassa raportissaan seuraavanlaisia vähimmäistoiminnallisuuksia:

- Vähintään taseselvitysjakson mukainen energiatiedon rekisteröintitiheys, joka on päivitettävissä etäyhteydellä. Taseselvitysjakso tulee lyhenemään 15 minuuttiin vuoteen 2025 mennessä. Mittarissa varauduttava lyhyempiin jaksoihin.
- Energian sekä lois- ja pätötehon vaihekohtainen mittaus ja rekisteröinti
- Lois- ja pätötehon, virran ja jännitteen mittaus
- Verkosta oton ja verkkoon annon vaihekohtainen mittaus
- Alle kolmen minuutin jännitteettömien aikojen rekisteröinti
- Mittarin toiminnallisuutta määrittelevien ohjelmistojen päivittäminen etänä
- Kytkentä- ja etäkatkaisutoiminnallisuus
- Paikallinen yksisuuntainen fyysinen tiedonsiirtoväylä, jonka päivitystaajuus on enintään 5 sekuntia
- Mittareiden tietoturvasta huolehdittava
- Kuormanohjaustoiminnallisuus toimijoille, joilla merkittäviä ohjattavia kuormia. (Pahkala ym. 2018a, 62.)

Verkkoyhtiöt voivat halutessaan määritellä myös muita ominaisuuksia mittareihinsa, jos katsovat saavansa niistä hyötyä (Pahkala ym. 2018a, 63). Yllä ehdotetut toiminnallisuudet ovat minimitoiminnallisuuksia, joiden lisäksi mittauslaitelainsäädännön määrittämät vaatimukset tulee ottaa huomioon.

Seuraavan sukupolven etäluettavajärjestelmä nähdään kokonaisuutena, joka tarjoaa kehitysalustan markkinatoimijoiden toiminnalle ja palveluiden kehitykselle eli se on keskeinen osa tulevaisuuden markkinapaikkaa. Elenia Oy:n kuvan 12 kaltaisessa visiossa mittalaitteet, markkinatoimijat ja asiakkaat ovat kytkettyinä pilvipalveluun, joka on esitetty osana Elenian uutta tietoliikennetähtäystä. Pilvipalvelu muodostaa suljetun järjestelmän, jonka kautta on mahdollista toteuttaa kontrolloidut rajapinnat. Tiedonhallintajärjestelmään (MDM) voidaan implementoida tarvittavat ominaisuudet, tietokannat ja rajapinnat. Elenian näkemys seuraavan sukupolven AMR-järjestelmästä mahdollistaa sensoreiden ja muiden oheislaitteiden toimimisen päätelaitteina AMR-

mittalaitteiden ohella. Tämä avaa mahdollisuudet hyödyntää järjestelmää nykyistä kokonaisvaltaisemmin huomioiden eri toimijoiden tarpeet. (Luukko 2018, 39–40.)



Kuva 12. Elenia Oy:n visio tulevaisuuden AMR-järjestelmästä (Luukko 2018, 39)

6.3 AMR-ohjauksen hyvät ja huonot puolet

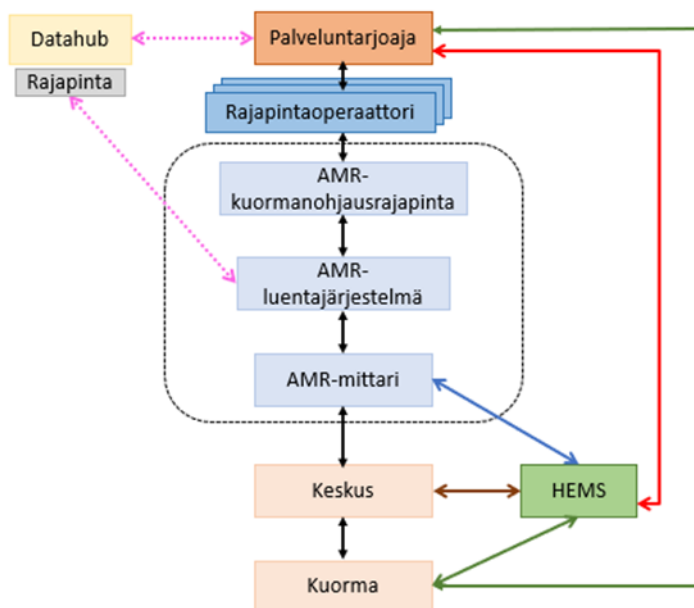
Sisällyttämällä kuormanohjausrele sähkömittariin saadaan suuri massa asiakkaita ja kysyntäjoustopotentiaalia helposti mukaan kuormanohjauksen piiriin. Rele ei itsessään aiheuta huomattavia lisäkustannuksia, kun mittareita hankitaan suuri määrä kerrallaan. Siksi AMR-ohjauksesta aiheutuvat lisäkustannukset mittarissa eivät ole suuret. Myös asennuskustannukset ovat pienet kohteissa, joissa releen taakse on jo kytketty kuormaa. (Pahkala ym. 2018a, 64–65.)

Hyvänä puolena nähdään myös jakeluverkkoyhtiöiden tarjoama standardoitu rajapinta, joka luo yhdenmukaisen ohjausalustan. Tähän ohjausalustaan voidaan liittää palveluita. Kaikkia toimijoita palveleva ohjausalusta mahdollistaa sujuvan joustopalvelun tarjoajan vaihdon ja erillisten vaatimusten asettamisen tietoturvalle. (Pahkala ym. 2018a, 65.)

Jakeluverkkoyhtiöiden osallistuminen joustopalveluiden tarjoamiseen ei ole kuitenkaan yksiselitteistä tasapuolisen kilpailun näkökulmasta. Tarjotessaan teknistä alustaa kysyntäjoustolle teknisten ratkaisujen toimittajat ja operaattorit kilpailevat jakeluverkkoyhtiöiden omien ohjausratkaisujen kanssa. Tämä tulee vähentämään liiketoimintaympäristön houkuttelevuutta. Lisäksi nyt tehtävä ohjausratkaisun toteutus ei välttämättä vastaa tulevaisuuden tarpeita. Ohjausratkaisun kehittäminen on hidasta, koska noin 80 verkkoyhtiötä kehittävät sitä yhdessä. Usean eri osapuolen osallistuminen kehittämiseen aiheuttaa myös sen, että rooleista ja vastuista voi tulla epäselkeitä. (Pahkala ym. 2018a, 65.)

6.4 Rajapinnan toteutus

Älykäs sähköjärjestelmä ja kuluttajien osallistuminen sähkömarkkinoille vaativat uusia teknisiä toteutuksia sähkömarkkinaprosesseihin ja asiakasrajapintaan. Sähköjärjestelmän muuttuessa hajautuneemmaksi ja sähkömarkkinoiden reaaliaikaisemmaksi on tiedonvaihtoa kehitettävä. Älyverkkotyöryhmän perustaman alatyöryhmän tehtävänä oli paneutua ja teettää lisätietoa työryhmälle kuormanohjausrajapinnasta AMR-mittarin kautta tehtäviin ohjauksiin. Selvityksen mukaan AMR-kuormanohjausrajapinta voidaan toteuttaa osana datahubia tai erillisenä standardoituna rajapintana, joka perustuu muutaman kilpailevan rajapintaoperaattorin tarjoamaan palveluun (kuva 13). Standardoitu rajapinta ohjauspyyntöjen välittämiseen olisi järkevää toteuttaa keskitetyn teknisen palvelualustan kautta. Vakioitu standardirajapinta parantaisi myös kustannustehokkuutta, jos palveluntarjoaja haluaa hyödyntää asiakkaiden hankkimia järjestelmiä tai laitteiden tarjoamaa rajapintaa. Datahubin nykyisen version määrittely ei sisällä toimintoja reaaliaikaisten ohjausten toteuttamiseksi. Kuormanohjausrajapinnan lisääminen osaksi datahubia muuttaisi oleellisesti sen toiminnallisuutta eli datahub ei olisi pelkästään mittaustietoa keräävä ja välittävä tiedonvaihtotapa. Koska toteutus jää datahubin tuleviin versioihin, voi se muodostua hidasteeksi rajapinnan toteuttamiselle. (Järventausta ym. 2018, 2–9.)



Kuva 13. Alatyöryhmän näkemys rajapintaoperaattoreista ja kuormanohjausrajapinnasta (mukaillen Järventausta ym. 2018, 10)

Rajapintaoperaattoreita, jotka toteuttaisivat vakioituneen rajapinnan palveluna voisi olla muutamia. Rajapintaan voi liittyä sekä jakeluverkkoyhtiön että palveluntarjoajan tietojärjestelmä. Koska integrointirajapintoja ei tarvitse toteuttaa jokaisen jakeluverkkoyhtiön järjestelmään, pienenisi integraatiotyö sähkön vähittäismyyjän ja muiden palveluntarjoajien tietojärjestelmien osalta. Tietojärjestelmäintegraatio pitää kuitenkin toteuttaa käytännön tasolla jokaiseen integroitavaan järjestelmään erikseen. Jakeluverkkoyhtiön tehtäväksi tulisi avata kuvassa 13 esitetty kuormanohjausrajapinta ja toteuttaa se vähintään yhteen rajapintaoperaattorin järjestelmään. Palveluntarjoajan tehtävänä on vastaavasti liittyä yhteen rajapintaoperaattorin järjestelmään. Rajaoperaattorit hoitavat tiedonvaihdon nykyisen sanomaliikenteen toteutuksen kaltaisesti. Todennäköistä on, että rajapintaoperaattoreina toimivat ainakin sanomaliikennettä operoivat sähköalan IT -toimittajat. (Järventausta ym. 2018, 9.)

6.5 Rajapinnan vaatimukset

Älyverkkotyöryhmän mukaan verkkoyhtiöiden on tarjottava vakioitu rajapinta etäluettavien mittareiden ohjaukseen ja sen pitää olla kaikille sähkömarkkinatoimijoille samanlainen. Älyverkkotyöryhmän alatyöryhmä listasi raportissaan seuraavanlaisia yleisiä toiminnallisia vaatimuksia rajapinnalle:

- Ohjattavien kuormien avulla pystyttävä osallistumaan päivän sisäiseen markkinaan eli ohjauksen tapahduttava useita kertoja päivässä.
- Menettelytavan oltava markkina-aluekohtainen, vähintään kansallinen.
- Ohjaus tapahtuu palveluntarjoajan aloitteesta sovitulla tavalla.
- Ohjauksen tulee olla vähintään käyttöpaikkakohtainen.
- Ohjauspyyntöjen ilmoitustavat ja muu rajapinnan kautta tapahtuva tiedonvaihto pitää standardoida.
- Ohjattavissa olevan kuorman määrä
 - Tieto tulee palveluntarjoajalle muuta kautta kuin kuormanohjausrajapinnasta, esim. datahubin kautta.
 - Tulee pystyä todentamaan mittaamalla tai tilastollisesti markkinapaikan vaatimusten mukaisesti.
- Vasteaikavaatimukset ohjaukselle
 - Määräytyvät markkinapaikkojen vaatimusten mukaisesti
 - Riippuvaisia valituista teknologia- ja tiedonsiirtoratkaisuista
 - Kalenteriohjauksen edellyttämän kalenteripäivityksen osalta vaatimustaso on tasejakson suuruusluokkaa oleva aika.
- Saavutettavuus markkinapaikkojen vaatimusten mukaisesti
- Kuittaus ohjauksen läpimenosta (voi olla tarpeen asiakkaan näkökulmasta)
- Ohjauksen toteutumisen todennettavuus
 - Ohjauksen läpimeno ja onnistuminen
 - Ohjattavan kuormitusmuutoksen toteutuminen sopimuksen mukaisesti.

(Järventausta ym. 2018, 9.)

Pitää muistaa, että yllä mainitut toiminnallisuudet ovat raportin julkaisemisen aikaisia suosituksia ja ehdotuksia. Nämä tulevat luultavasti muuttumaan tulevaisuudessa.

7 MARKKINATILANNE SUOMESSA

Kuluttajat voivat hyödyntää kysyntäjoustoa investoimalla älykkääseen ohjaukseen, jonka avulla he pystyvät paremmin optimoimaan sähkönkäyttöään ja kustannuksiaan. Erilaiset kiinteistöohjaus- ja automaatiojärjestelmät ovat lisääntyneet viime vuosina ja niiden investointikustannukset ovat laskeneet, mutta niiden kokonaisosuus on edelleen hyvin pieni. Palveluntarjoajilta on saatavilla myös erilaisia palvelukonsepteja, joissa ohjauslaitteet voi saada palvelumaksulla sen sijaan että niihin joutuisi investoimaan aluksi suuria summia. (Pahkala ym. 2018b, 33.) Seuraavissa luvuissa on esitelty muutama markkinoilla oleva järjestelmä kuluttajille ja niiden kustannustiedot.

7.1 Fortum Fiksu Energiaseuranta

Fortum Fiksu Energiaseuranta on Fortum Oyj:n tarjoama palvelu, joka sopii suorasähkölämmitteiseen omakoti- tai paritaloon, jossa on käytössä lämminvesivaraaja. Palvelun avulla kuluttaja seuraa sähkönkäyttöään reaaliaikaisesti sekä ohjaa etänä lämminvesivaraajaa Oma Fortum -sovelluksella. Palvelu ei kuitenkaan ohjaa lämminvesivaraajaa kustannussäästömielessä, eikä hallinnoi kodin lämmitystä. Asiakas saa myös päivittäin ympäristöraportin, josta näkee toteutuneen kysyntäjouaston vaikutukset. Palvelun tilaaminen ei edellytä sähkösopimusta Fortumilta, mutta asiakkaan sähkösopimuksessa täytyy olla erillinen hinta yösähkölle. Kuluttajalle suositellaan Fortumin pörssihinnoiteltua sähkösopimusta, jossa sähkön hinta vaihtelee tunneittain ja on yleensä halvimmillaan aamuyön tunteina ja kalleimmillaan kulutushuippujen aikaan aamulla ja iltapäivällä. Kuvan 14 kaltaisen lämminvesivaraajan ohjauslaitteen asennus sähköpääkeskukseen maksaa 99 euroa ja itse palvelu maksaa 4,90 euroa kuukaudessa. Asennus on kotitalousvähennyskelpoinen. (Fortum Oyj:n www-sivut 2019.)



Kuva 14. Fortumin ohjauslaite sähköpääkeskuksessa (Kyytsönen 2017)

Fortumin palveluun liittyneitä varaajia ohjataan kytkeytymään päälle porrastetusti siten, että palveluun liittyneiden lämminvesivaraajien sähköntarve pysyy yön aikana suunnilleen samana eikä yön ensimmäisille tunneille synny kysyntäpiikkiä. Energiaseurannan kautta on kuitenkin mahdollista osallistua myös muille sähkömarkkinoille palvelun ohjauksen reaaliaikaisuuden takia. (Oinonen 2019, 15.) Tällä hetkellä Fortum ilmoittaa sivuillaan palvelussa olevan mukana 1951 lämminvesivaraajaa ja sähköverkkoa on tasapinotettu yhteensä 299 MWh (Fortum Oyj:n www-sivut 2019).

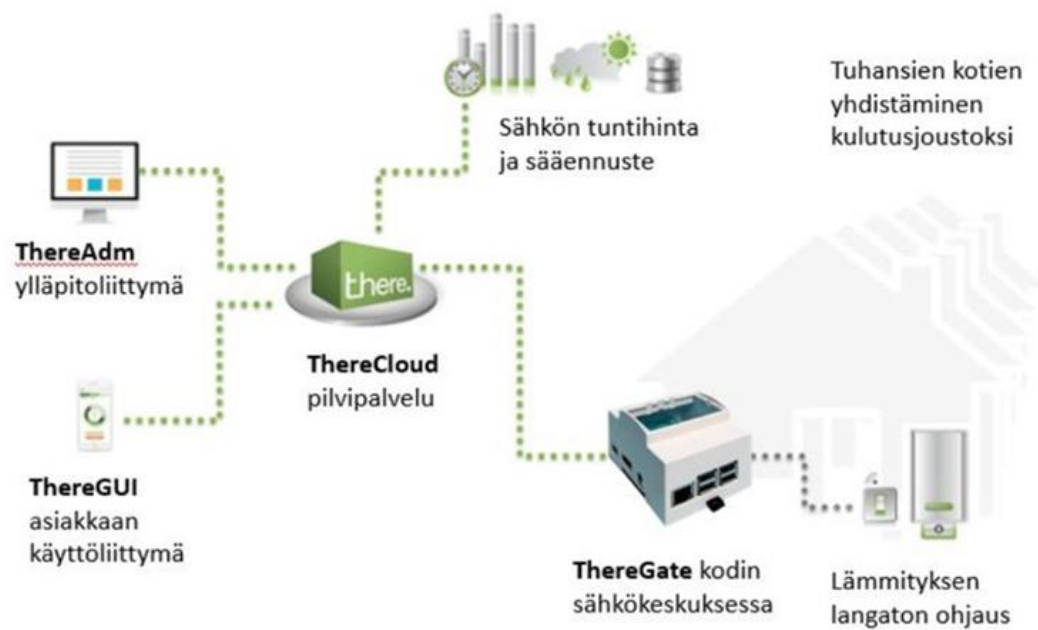
7.2 There Suora ja There Varaava

There Corporation Oy on suomalainen kysyntäjoustoprojektien edelläkävijä, joka on toimittanut ratkaisujaan viiteen eri maahan. Yritys tunnettiin ennen nimellä Nokia Smart Home. There on toteuttanut vuodesta 2014 alkaen energiayhtiöille Suomen ensimmäiset neljä kysyntäjoustoprojektia. Esimerkiksi There ja Fortum kehittivät yhteistyössä Fortumin edellisen Fortum Fiksu -järjestelmän, mutta nykyään Fortum käyttää omaa ohjausjärjestelmäänsä. There mainostaa tuotteensa olevan markkinoiden edullisin ja pilvipalvelualustan olevan ainoa, jolle voidaan aggregoida kysyntäjoustoprojektia kaikille Fingridin reservimarkkinoille. Tällä hetkellä yhtiöllä on menossa yhteishanke muutaman suomalaisen jakeluverkkoyhtiön kanssa, jossa asiakkaiden koteihin asennetaan Theren älykotiratkaisuja. (There Corporation Oy:n www-sivut 2019.)

There Suora on tarkoitettu kuluttajille, joilla on suora sähkölämmitys ja/tai mahdollinen varaava tai osittain varaava sähkölattialämmitys. Theren palvelu ohjaa myös lämmivesivaraajaa. Järjestelmä vähentää lämmitykseen käytettävää energiamäärää puuttamalla lämpötilaa kuluttajan haluamalla tavalla eri tilanteissa sekä ohjaa lämmitystä edullisemmille tunneille. Ohjauksessa otetaan huomioon rakennuksen lämmöneristys, lämmön varastointikapasiteetti, sääennuste, sähkön tuntihinta ja asiakkaan määrittelemä lämpötilan vaihteluväli. Järjestelmä koostuu keskusyksiköstä, ohjausreleestä ja yhdestä lämpötilamittauksesta, mutta pakettia voi halutessaan laajentaa lisäämällä lämpötilamittauksia ja ilmalämpöpumpun ohjaus. (There Corporation Oy:n www-sivut 2019.)

There Varaava on tarkoitettu taas kuluttajille, joilla on varaava vesikiertoinen sähkölämmitys. Varaajan on oltava vähintään 1500 litrainen ja ohjaukseen on mahdollista liittää myös erillinen käyttövesivaraaja. Kuten There Suora, Varaava-järjestelmä minimoi kodin lämmityskustannuksia ohjaamalla varaajan lämmitystä edullisemmille tunneille. Varaava-järjestelmä koostuu samoista laitteista kuin Suora ja halutessaan sitä voi laajentaa liittämällä siihen ilmalämpöpumpun ohjaus. (There Corporation Oy:n [www](http://www.there.fi)-sivut 2019.)

Kysyntäjoustoa ja kodin lämmitystä ohjataan ThereCloud pilvipalvelun kautta kuvan 15 mukaisesti. Pilvipalvelun käyttäjä voi seurata ja ohjata kodin lämmitystä henkilökohtaisen käyttöliittymän kautta. Pilvipalvelulla on internet-yhteys ThereGate keskusyksikköön, joka ohjaa langattomasti lämmityksen ohjauslaitteita ja kerää tilatietoa lämpömittarilta ja ohjauslaitteilta. Ohjauksia varten pilvipalveluun haetaan tietoa myös säästä ja sähkön hinnasta. (There Corporation Oy:n [www](http://www.there.fi)-sivut 2019.)



Kuva 15. Havainnekuva Theren langattomasta ratkaisusta (There Corporation Oy:n www-sivut 2019)

There Suora ja There Varaava tuotepaketit kustantavat tällä hetkellä 590,95 euroa. Hinta sisältää laitteet, asennuksen ja ensimmäisen kolmen kuukauden palvelumaksun. Asennuksen osuus kokonaishinnasta on 250 euroa ja se on kotitalousvähennyskelpoinen. Palvelumaksun hinta on 9,90 euroa kuukaudessa. Laajennustuotepakettien ja lisälaitteiden hinnat ovat 40–140 euron välillä ja esimerkiksi ilmalämpöpumpun ohjauspalvelusta pitää maksaa 1,90 euroa kuukaudessa. (There Corporation Oy:n www-sivut 2019.)

8 LINJAUKSEN VALMISTELUN ETENEMINEN

8.1 Energiateollisuus ry

Energiateollisuus ry on energia-alan elinkeino- ja työmarkkinapoliittinen etujärjestö, joka edustaa yrityksiä jotka muun muassa tuottavat, hankkivat, siirtävät ja myyvät sähköä. ET on kertonut oman mielipiteensä Älyverkkotyöryhmän loppuraportista TEM:lle lähettämässään lausunnossa. ET on samaa mieltä älyverkkotyöryhmän visiosta tulevaisuuden älykkäästä sähköjärjestelmästä ja tukee heidän esittämiä ehdotuksia. Esitettyjen asioiden toteutuminen edellyttää kuitenkin ET:n mielestä lainsäädäntötyötä ja siihen liittyviä vaikutusten arviointoja sekä teknistä kehitystyötä. Lainsäädäntötyö tulisi aloittaa mahdollisimman pian ja sen tulisi edetä tarvittavan ripeästi. Myyjän ja verkonhaltijan välisen tiedonvaihdon toteutus vaatii yhteisesti sovittuja pelisääntöjä ja ET on sitoutunut osallistumaan tämän kehitykseen ja laatimaan jäsenistölleen toimintaohjeet. Seuraavan sukupolven mittareita koskeviin ehdotuksiin liittyen, ET haluaa korostaa minimivaatimusten kirjaamista lainsäädäntöön riittävän ajoissa. ET huolehtiikin, että älyverkkotyöryhmän tuomat muutokset huolehditaan asetuksiin ja alan ohjeistuksiin. (Heinimäki 2018, 1–5.)

ET:llä on kaksi työryhmää, vähittäismarkkinoiden menettelytapojen kehitysryhmä ja kuormanohjausrajapinnan määrittelyn työryhmä, jotka työstävät ja miettivät menettelytapoja ja tarvittavaa ohjeistusta. Kehitysryhmässä on kartoitettu mitä kysymyksiä verkonhaltijoilla ja sähkönmyyjillä on herännyt linjauksesta, mitä tarkennuksia älyverkkotyöryhmältä olisi tarve saada ja mitä ET:n on hyvä ohjeistaa alalle. Kun vastaukset näihin on saatu, koostaa ET niistä ohjeet ja laatii asiakastiedotuksen materiaalit eli muutoshetken viestinnän helpottamiseksi yhtiöiden tueksi viestintämateriaalia eri näisiin tilanteisiin. (Wessman sähköposti 3.9.2019.)

Viimeisimmässä kehitysryhmän kokouksen pöytäkirjassa on esitelty seuraavanlaisia TEM:n älyverkkotyöryhmän jatkotoimia:

- Energiavirasto on perustanut Älyverkkoforumin, jonka tehtävänä on tukea puhtaasti energian paketin säännösten, TEM:n asettaman älyverkkotyöryhmän

ehdotusten ja älyverkkovision täytäntöönpanoa. Forumin tavoitteena on edistää kysyntäjoustop toteutumista ja kuluttajien valinnanmahdollisuuksia sekä keskustella ehdotuksista lainsäädännön kehittämiseksi. Keskusteluiden pohjalta laaditaan aloitteita tarvittaessa TEM:lle lainsäädännön kehittämiseksi. (Energiaviraston www-sivut 2019.)

- TEM:n mittausasioiden taustaryhmä keskittyy avustamaan TEM:n energiaosastoa mittarointiin ja energiayhteisöihin liittyvien älyverkkotyöryhmän ehdotusten ja puhtaan energian pakettin toimeenpanossa. Yksi keskeinen teema on älymittareiden toiminnallisuudet ja käytännön toteutus. (Suomen Lähienergioliitto ry:n www-sivut 2019.)
- ET laatii ohjeen verkon toteuttamien kuormanohjauksien siirtymiseksi markkinatoimijoille (Vähittäismarkkinoiden menettelytapojen kehitysryhmän pöytäkirja 19.11.2019, 5).
- Sähkötutkimuspoolin hanke kuormanohjausrajapinnan määrittelyksi on käynnistetty syksyllä 2019 ja sen on määrä valmistua maaliskuussa 2020. Projektin toteuttajan Empowerin tavoitteena on määritellä kuormanohjausrajapinta, jonka kautta sähkönmyyjät ja joustopalveluntarjoajat voivat kustannustehokkaasti hyödyntää seuraavan sukupolven älymittareiden kuormanohjausmahdollisuuksia. Projekti on rajattu koskemaan ainoastaan markkinatoimijan ja jakeluverkkoyhtiön välistä kommunikaatiota. (Empower Groupin www-sivut 2019.)

8.2 Telia ja Aidon

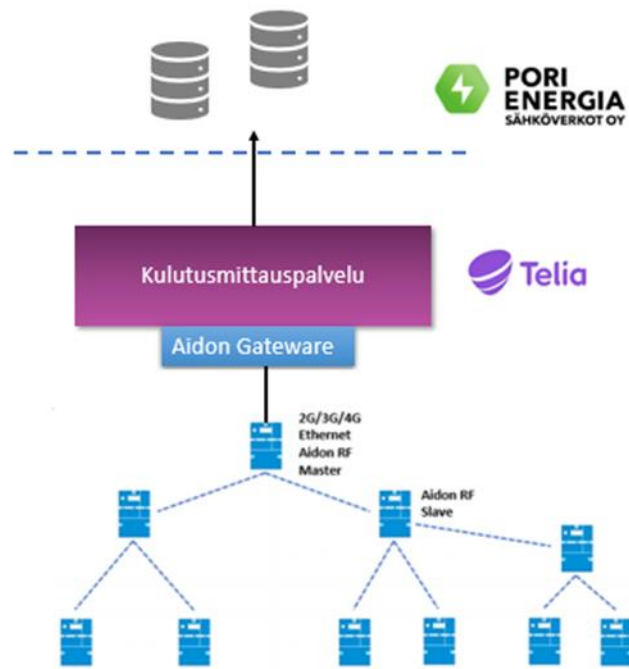
Telia ja Aidon, joiden kulutusmittauspalvelu ja etäluettavat mittarit PESV:llä on käytössä, ovat miettineet ratkaisujaan kuormanohjauksen toteuttamiseksi tulevaisuudessa. Heiltä ei kuitenkaan ole tullut vielä mitään virallisia päätöksiä tai ratkaisuja toimistaan. Telian KMP mahdollistaa jo nykyisellään AMR-mittarin kuormanohjausreleen ohjaamisen järjestelmärajapinnan kautta eli valmius AMR-mittarin kautta toteutettavalle kuormanohjaukselle on jo olemassa (Peipponen sähköposti 6.9.2019).

Telian KMP ja Aidonin nykyinen mittalaitekanta mahdollistaisivat seuraavanlaiset kuormanohjaustoiminnallisuudet:

- Mittarin suorittama tariffeihin perustuva paikallinen ohjaus. Mittarissa on kaksi kalenteria, tariffi- ja relekalenteri. Tariffikalenteri määrää mihin rekisteriin kulutus milloinkin kirjataan. Relekalenteri määrää milloin relettä ohjataan. Jos ohjausaikoja halutaan muuttaa, pitää laitteeseen ladata uudet kalenterit. Kulutusmittauspalvelu mahdollistaa tämän.
- LIS-rajapinnan kautta tehtävä suora kuormanohjaus. Kuormat voidaan kytkeä päälle tai pois rajapinnasta tulevan pyynnön pohjalta. Kumpaakin relettä voidaan ohjata.
- Ajastettu kuormanohjaus. Aidonin mittarin relekalenteri mahdollistaa teoriassa myös ajastetun kuormanohjauksen, mutta tälle ei ole rakennettu tukea KMP:un. Käytännössä tämä toimisi niin, että LIS-rajapinnan kautta saadaan halutut ohjausajat ja näiden pohjalta KMP muodostaa uuden relekalenterin ja lataa sen mittariin. Mittari suorittaa ohjaukset ladatun kalenterin pohjalta. (Peipponen sähköposti 29.11.2019.)

Toteutus nykyisillä mittareilla on kuitenkin osittain puutteellinen, koska riittävää reaaliaikaisuutta niillä ei ehkä saada toteutettua ainakaan suuria laitemääriä ohjattaessa. Telia on tästä syystä aloittanut kehitysprojektin, jossa nykyisen LIS-rajapinnan tilalle tai rinnalle tehdään moderni AMR API. Tämä mahdollistaisi reaaliaikaiset ohjaukset ja kyselyt suurille laitemassoille kerrallaan. AMR API:in tullaan toteuttamaan toiminnallisuus ajastetusta ohjauksesta. Tällä hetkellä ei ole selvää mille kaikille laitteille ajastettu ohjaus tulee olemaan uuden rajapinnan kautta mahdollista. Kehitysprojektin tavoitteena on myös se, että rajapinnan voisi jakeluverkkoyhtiön luvalla avata myös tarvittaessa kolmansille osapuolille. (Peipponen sähköposti 6.9.2019.)

Tällä hetkellä Telia odottaa Aidonilta ja muilta laitetoimittajilta ratkaisua dynaamiseen kuormanohjaukseen, joka mahdollistaisi ohjauskäskyn lataamisen laitteeseen esimerkiksi 15 minuuttia etukäteen. Suora ohjaus kun ei ole kaikissa tapauksissa paras ratkaisu. Nykyisessä Aidonin kuvan 16 kaltaisessa RF-ratkaisussa ei ole tällaista toiminnallisuutta, mutta sellaisen pitäisi olla tulossa. (Peipponen sähköposti 6.9.2019.)



Kuva 16. Havainnekuva Telian järjestelmästä RF-tekniikalla (mukaillen Luukko 2018, 10)

9 HAASTATTELUT

Älyverkkotyöryhmän linjaukseen liittyen haastateltiin yhdeksää PESV:n ja Pori Energia Oy:n työntekijää. Haastateltavat olivat sellaisia, joiden toimenkuvaan linjaus vaikuttaa jollakin tasolla, kuten esimerkiksi asiakaspalvelussa ja tietojärjestelmien parissa työskenteleviä. Haastatteluissa keskusteltiin jakeluverkkoyhtiön nykyisestä aikaohjauksesta, käytiin lyhyesti läpi älyverkkotyöryhmän linjausta ja esiteltiin esimerkkipiirustuksia järjestelmästä. Tarkoituksena oli kerätä mielipiteitä, huolenaiheita ja selvittää mitä heidän mielestään tarvitsisi ottaa huomioon. Haastatteluiden yhtenä tärkeänä tehtävänä oli toimia myös infona linjauksesta.

Nykyinen kuormien aikaohjaus PESV:ssä katsottiin toimivan pääasiassa hyvin. Alun käyttöönoton jälkeen ohjaukset ovat menneet hyvin perille. Mittareissa esiintyy joskus ongelmia, mutta pääasiassa ne ovat olleet luentaongelmia Telian päässä. Ongelmien sattuessa osa kuluttajista ottaa yhteyttä ensin verkkoyhtiöön, vaikka todennäköisin auttaja olisi sähkömies. Vika voi olla ja usein onkin kuluttajan omassa tekniikassa. Haastatteluissa nousikin esiin kuluttajien tietämättömyys omasta sähköjärjestelmästä ja sähkökeskuksesta. Myös asiakkaiden ymmärtämättömyys nykyisestä kuormien portaittaisesta ohjauksesta aiheuttaa edelleen soittoja varsinkin talvisin, vaikka käytännöstä on ilmoitettu useaa tiedotuskanavaa käyttäen.

Tulevan linjauksen haastateltavat näkivät yleisesti ottaen väistämättömänä asiana, jonka tarkoitusperät ovat hyvät. Linjauksen aikataulu herätti kuitenkin osittain ihmetystä. Aikataulu koettiin tiukaksi, varsinkin kun mitään lopullisia päätöksiä ei ole tehty. Moni näkikin, että aikataulua luultavasti tullaan siirtämään, kuten datahubin kohdalla on käynyt. Kysymyksiä herätti myös asiakkaiden aktiivisuus lähteä mukaan toteuttamaan kysyntäjoustoa ja mahdollisten investointien suuruus. Nykyään kuluttajat pitävät itsestään selvänä, että heidän kuormiaan ohjataan automaattisesti. Kaikki kuluttajat eivät ole kiinnostuneita esimerkiksi spot-sähköstä tai teknisistä järjestelmistä, vaan heille riittää, että kiinteistöön tulee ylipäätään sähköä. Haastateltavat näkivätkin haasteita siinä, kuinka kuluttajat lähtevät mukaan kysyntäjoustoon, varsinkin jos järjestelmät ja palvelut ovat kalliita. Kuluttajat eivät ole halukkaita maksamaan tuotteista, joiden takaisinmaksuaika on iso. Kuormien ohjaus palveluntarjoajan

toimesta nähtiin kuitenkin todennäköisempänä vaihtoehtona, kuin että asiakas lähtisi itse ohjaamaan kuormiaan. Kuluttajilla ja ihmisillä ylipäätään on tapana hakea nyky-päivänä helppoutta arkeensa.

Jakeluverkkoyhtiön omia toimintoja mietittäessä haasteita ja huolenaiheita ilmeni monessa eri asiassa. Kuluttajien tietämys omista järjestelmistään ei koeta ainakaan selkeytyvän tulevaisuudessa. Nykyään kun asiakas soittaa vikatilanteesta, niin PESV:n päässä yritetään haastatteleamalla selvittää mahdollisimman paljon ennen kuin paikalle lähetetään asentaja. Tietämystä ja osaamista tullaan tarvitsemaan tulevaisuudessa eri järjestelmistä vikaryhmältä. Asentajille tarvitsee viestiä asiasta ja heidät pitää opastaa hyvin.

Huolta herätti myös se, ettei palveluntarjoajat ohjaa kuormia välttämättä jakeluverkkoyhtiön näkökulmasta parhaalla tavalla. Pelkona on hallitsemattomat ja yllättävät kuormituksen muutokset, kun kaikki ohjaavat kuormat samaan aikaan päälle. Haastateltavien mukaan olisi hyvä tietää jakeluverkkoyhtiössä, koska tulee halvan sähkön tunteja eli jonkin-lainen valvontajärjestelmä olisi hyvä saada.

Jakeluverkkoyhtiön järjestämän rajapinnan tietoturvasta haastateltavat olivat myös huolissaan ja painottivat sen tärkeyttä. Jakeluverkkoyhtiön tulee varmistua siitä kuka sen rajapintaa käyttää kuormien ohjaamiseen eli asiakastietojärjestelmässä täytyy olla tieto siitä kuka ja millä avainmetodeilla hallitsee kunkin käyttöpaikan kytkentöjä. Jakeluverkkoyhtiön infraa hyväksikäyttävistä täytyy olla tietoja verkkoyhtiön omassa järjestelmässä ja varmistus siitä kuka pyyntöjä tekee. Hyödyllisenä nähtiin myös tapahtumalokin saaminen ohjausten todentamiseksi. Tällöin nähtäisiin suoraan, toimiiko mittari eikä tarvitsisi katsoa tuntisarjaa.

Haasteena asiakas- ja tietojärjestelmien suhteen nousi myös Pori Energia Oy:n ja muutamien muun sähköyhtiön myynti- ja palveluyhtiöiden yhdistyminen. Yhtiöillä on omat käytäntönsä ja nyt pitäisi luoda uudet yhteiset käytännöt. Jakeluverkkoyhtiöiden toimintatavat ja tietojärjestelmät pitää yhtenäistää tiettyyn pisteeseen. Tämän koetaan aiheuttavan erityisesti ajallista kestoa.

Palveluntarjoajan, asiakkaan ja jakeluverkkoyhtiön välisessä viestinnässä ja vastuualueissa nähtiin erityisen paljon haasteita. Haastateltavat halusivat selkeitä päätöksiä ongelmatilanteisiin eli kuka ottaa vastuun ensisijaisesti ja keneen asiakas ottaa yhteyttä. Yleisesti nähtiin, että vastuu on jakeluverkkoyhtiön jos kuormat ohjataan heidän ohjauksessaan. Jos palveluntarjoaja käyttää jakeluverkkoyhtiön infraa ja mittaria, täytyy heillä olla tietojärjestelmät pyyntöjen todentamiseksi. Näin saadaan rajattua missä ongelma mahdollisesti on ja siten kuka on vastuussa. Jos taas kuluttajalla on käytössä oma tai palveluntarjoajan ohjauslaite, on vastuu heidän. Ensisijaisesti kuluttajan tulisi ottaa yhteys siihen, kenen kanssa on tehnyt sopimuksen.

Jakeluverkkoyhtiön toteuttamasta kuormanohjauksesta luopuminen tulee aiheuttamaan paljon kyselyitä kuluttajien suunnalta. Siksi tiedottaminen on erityisen tärkeää. Vahva mielipide oli, että tiedottamista asiakkaille tulisi tehdä kaikkia mahdollisia kanavia hyödyntäen, kaikille asiakkaille ja useaan kertaan. Pohjalla olisi hyvä olla valtakunnallista tiedottamista ennen kuin lähdetään tiedottamaan paikallisella tasolla. Itse tiedon pitäisi olla yksinkertainen sisäistää ja sen tulisi olla helposti saatavilla. Haastateltavien luotto Pori Energia Oy:n viestintätiimiin on hyvä, ja heidän koettiin onnistuneen hoitamaan viestintää tähän mennessä hyvin.

Kaikilta haastateltavilta tiedusteltiin mielipidettä siitä, mitä jakeluverkkoyhtiön pitäisi tehdä tilanteessa, jossa on ylitetty päivämäärä 30.4.2021 eikä palveluntarjoajalta ole tullut pyyntöä tai ilmoitusta ohjauksista. Mielipiteet tähän vaihtelivat, mutta yleisin mielipide oli, että nykyisen aikaohjauksen kaltaista toimintaa jatkettaisiin kyseisessä tilanteessa. Yhtenä perusteluna tähän oli mahdolliset ongelmat asiakkaan päävarokkeiden kanssa. Toiseksi nousi mielipide ohjausten luopumisesta kokonaan. Myös sitä ehdotettiin, että ohjaukset jäisivät siihen tilaan missä ne ovat sillä hetkellä eli jakeluverkkoyhtiötä ei automaattisesti velvoitettaisi tekemään yhtään mitään.

10 YHTEENVETO

Osana ilmastonmuutoksen ehkäisemistä uusiutuvan energian tuotanto on kasvanut ja jatkaa kasvamistaan Suomessa. Tämä on johtanut siihen, että sähkön tuotantorakenne on vaihtelevampaa ja kulutuksen vaihteluihin vastaamaan kykenevän energian tuotannon osuus on pienentynyt. Työ- ja elinkeinoministeriön perustama älyverkkotyöryhmä on esittänyt ratkaisuna sähköntuotannon vaihteluihin jakeluverkkoyhtiöiden kuormanohjauksista luopumista ja siirtymistä markkinaehtoiseen kulutuksen ohjaukseen eli kysyntäjousto. Kysyntäjouston avulla sähkönkulutusta pystyttäisiin siirtämään tehohuipuista kysynnän kuoppiin ja edullisempiin ajankohtiin. Kysyntäjoustolla saadaan näin tasapainotettua verkkoa. Älyverkkotyöryhmän linjauksen mukaan siirtyminen tulisi tapahtua hallitusti viimeistään 30.4.2021. Määräaika on sovitettu tuleviin muutoksiin sähkömarkkinoilla ja tarkoituksena kannustaa palvelutarjoajia kehittämään uusia tuotteita.

Tällä hetkellä merkittävä osa sähkön kuluttajista on jakeluverkkoyhtiöiden tarjoaman kuormanohjauksen eli aikaohjauksen piirissä. Näiden kuluttajien AMR-mittarin kuormanohjausreleen takana olevat laitteet kytkeytyvät päälle yöaikaan, jolloin sähkön siirtohintaa on edullisempaa. Kuormanohjauksessa olevan sähkönkulutuksen arvioidaan olevan yli 1000 MW, mutta tekninen ohjauspotentiaali on kuitenkin tätä suurempi. Tätä ohjauspotentiaalia halutaankin hyödyntää joustomarkkinoilla.

Älyverkkotyöryhmän linjauksen mukaan kuluttajien sähkönkulutuksen ohjaaminen olisi kilpailtua toimintaa. Kuluttajalla on mahdollisuus osallistua palveluntarjoajan avulla tai itse kysyntäjousto. Palveluntarjoajat toimivat yhdistävänä tekijänä kuluttajien, jakeluverkkoyhtiöiden ja sähkömarkkinoiden välillä. Jakeluverkkoyhtiöiden tehtävänä on tarjota jatkossa yhteys sähköjärjestelmään ja markkinapaikalle eli he eivät ohjaa suoraan sähköntuotantoa ja -kulutusta. Heidän tehtävänä on luoda tekninen alusta ja rajapinta, jota kautta palveluntarjoajat pääsevät muodostamaan ohjauskäskyt. Älyverkkotyöryhmän selvityksen mukaan rajapinta voitaisiin toteuttaa osana datahubia tai erillisenä standardoituna rajapintana, joka perustuu muutaman kilpailevan rajapintaoperaattorin tarjoamaan palveluun.

Teknisiä toteutustapoja, joiden avulla kuluttajien sähkön kulutusta voitaisiin ohjata, ovat AMR-mittarit, energianhallintajärjestelmät ja kiinteistöautomaatiojärjestelmät. Ainoastaan AMR-mittarin kautta tehtävät ohjaukset vaativat jakeluverkkoyhtiön osallistumista. Energianhallinta- ja kiinteistöautomaatiojärjestelmät voivat olla kuluttajan itse hankkimia tai palveluntarjoajan järjestämiä. Tällaisten järjestelmien osuus markkinoilla on tällä hetkellä pieni, mutta se on kasvamaan päin, varsinkin kun niiden investointikustannukset ovat laskeneet. Palveluntarjoajilta on saatavilla myös erilaisia palvelukonsepteja, joissa ohjauslaitteet voi saada palvelumaksulla.

Selvitysten mukaan nykyistä AMR-infrastruktuuria olisi järkevä hyödyntää kysyntäjoustopuolella. Energiaviraston mukaan vuoden 2016 lopussa 99,6 % Suomen käyttöpai-koista oli etäluettavia, mutta nykyinen AMR –teknologia ei kuitenkaan riitä yksistään täyttämään tulevia vaatimuksia. Nykyisten mittareiden tämänhetkiset tekniset ominaisuudet eivät ole riittävät toteuttaakseen markkinaehtoista kulutuksen ohjausta. Ratkaisuna nähdään seuraavan sukupolven AMR-mittarit, joihin ollaan siirtymässä tämän vuosikymmenen aikana. Näihin mittareihin on ehdotettu vähimmäistoiminnallisuuk- sia, joilla voitaisiin toteuttaa markkinaehtoiseen kysyntäjoustopuolelle tarvittavat ohjaukset. Ennen uuden sukupolven mittareita palveluntarjoaja sopii ohjauksen toteuttamisesta asiakkaan ja jakeluverkkoyhtiön kanssa olemassa olevalla verkkoyhtiön infrastruktuu- rilla.

Työ- ja elinkeinoministeriön linjauksen jälkeen on ryhdytty erilaisiin jatkotoimiin. Energiateollisuus ry:llä on kaksi työryhmää, jotka työstävät ja miettivät menettelyta- poja ja tarvittavaa ohjeistusta. ET on sitoutunut laatimaan jäsenilleen palveluntarjoajan ja verkonhaltijan välisen tiedonvaihdon toimintaohjeen sekä asiakastiedotuksen mate- riaalit. Lisäksi ET katsoo, että älyverkkotyöryhmän tuomat muutokset huolehditaan asetuksiin ja alan ohjeistuksiin. Myös monet muut tahot osallistuvat kehitystyöhön. Kysyntäjoustopuolelle pääsyn edistämiseksi on perustettu hanke kuormanoh- jausrajapinnan määrittämiseksi, työryhmä tutkimaan älymittareiden toiminnallisuuk- sia ja Älyverkkoforum lainsäädännön kehittämiseksi.

Pori Sähköverkot Oy:n ja Pori Energia Oy:n työntekijöiden haastatteluilla kerättiin mielipiteitä ja huolenaiheita linjauksesta. Samalla haastattelut toimivat infona linjauk- sesta. Suurin osa haastateltavista koki tulevat muutokset väistämättöminä, mutta

haasteellisina. Erityisen haasteelliseksi nähtiin nopea aikataulu, kuluttajien aktiivisuus ja tietämättömyys sähköjärjestelmistä, vastuualueiden mahdollinen epäselvyys sekä toimijoiden välinen viestintä. Huolta ja pelkoa herättivät palveluntarjoajien pyytämät ohjaustavat ja järjestettävän rajapinnan tietoturva. Asiakasviestinnän suhteen haasteltavat haluavat ensin valtakunnallista tiedottamista, jonka jälkeen tiedotusta paikallisella tasolla jokaista viestintäkanavaa käyttäen kaikille Pori Energia Oy:n asiakkaille. Selkeä ja yksinkertainen tiedottaminen on tärkeää sujuvan asiakastiedottamisen kannalta.

11 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa selvitys markkinaehtoisen kysyntäjoustopon vaikutuksista jakeluverkkoyhtiölle. Työn tuloksena syntyi selvitys työn toimeksiantajalle Pori Energia Sähköverkot Oy:lle. Koska linjauksen määräaika lähestyy ja saatavilla olevan aineiston laajuus on suuri, jakeluverkkoyhtiötä koskevan olennaisen tiedon kerääminen yhteen oli tärkeää. Selvityksessä käydään läpi nykyinen aikasähkön piirissä oleva kuormanohjaus sekä tulevan kysyntäjoustopon tavoitteita, aikataulua ja teknisiä toteutusmahdollisuuksia. Toimeksiantajan pyynnöstä työssä tarkasteltiin myös kysyntäjoustopon soveltuvien järjestelmien tämänhetkistä markkinatilannetta Suomessa ja esiteltiin lyhyesti muutama esimerkki.

Kysyntäjoustopon siirtyminen tuo mukanaan runsaasti muutoksia jakeluverkkoyhtiölle ja lisää mukaan uusia toimijoita. Nämä ovat omiaan tuomaan haasteita ja mahdollisia ongelmatilanteita jakeluverkkoyhtiölle. Tällä hetkellä linjaus on paikoittain hieman tulkinnanvarainen, mutta siihen on saatu koko ajan lisää tarkennuksia. Jotta ongelmatilanteilta välttyttäisiin, olisi lakien, asetusten, ohjeiden ja vastuiden määrittelyn valmistuttava ajoissa. Lisäksi teknisille ratkaisuille olisi hyvä päättää lopulliset vaadittavat toiminnallisuudet ja standardit. Se että toimiin on ryhdytty aktiivisesti, on erittäin positiivista. Erilaisia projekteja ja hankkeita on jo käynnistetty ja niistä olisi tärkeää saada lopullisia tuloksia ja päätöksiä hyvissä ajoin. Linjauksen määräaika suhteutettuna siihen mitä kaikkea linjaus sisältää ja mitä vielä pitää tehdä vaikuttaa kuitenkin kovin lyhyeltä.

Toimeksiantajan työntekijöiden haastattelut tukivat näkemystä valmiiden lakien, asetusten ja ohjeiden tärkeydestä. Haastatteluissa nousi esiin runsaasti mielipiteitä, huolenaiheita ja pelkoja ja niillä saatiin hyvin asiakasviestintää koskeviin kysymyksiin vastauksia. Haastattelut olivatkin erinomainen tapa tiedottaa tulevasta muutoksesta. Haastateltavat suhtautuivat aiheeseen avoimesti ja olivat aktiivisia haastatteluissa.

Opinnäytetyön suurimmiksi haasteiksi nousi vähäinen tietämykseni aihealueesta ja lähdemateriaalien laajuus. Myös aiheesta tehtyjä tutkimuksia oli käytettävissä paljon. Työn paisuminen oli tästä syystä riskinä, mutta työn rajaaminen onnistui mielestäni

kuitenkin hyvin. Haasteita aiheutti myös nauhoitettujen haastatteluiden litterointi ja analysointi. Niihin kulunut työmäärä ja -aika oli yllättävän suuri.

Opinnäytetyö täytti asetetut tavoitteet mielestäni hyvin. Vaikka työn aihe olikin haastava, oli sitä silti mielekästä ja mielenkiintoista tehdä. Koin aiheen erittäin tärkeäksi ja olin otettu saadessani tehdä siitä opinnäytetyön toimeksiantajalle. Työ eteni ja valmistui suunnitelman mukaisesti. Toimeksiantaja sai selvityksen suunnitellun aikataulun mukaisesti ja oli siihen tyytyväinen.

Jatkossa jakeluverkkoyhtiön olisi kannattavaa seurata aktiivisesti valmisteluiden etenemistä ja lainsäädäntötyön valmistumista. Näin he pystyvät ennakoimaan tuleviin muutoksiin ja valmistautumaan niihin. Toimeksiantajalle syntynyttä selvitystä voidaan tarvittaessa päivittää siirtymäprosessin aikana. Aktiivisen seuraamisen lisäksi Energia-teollisuus ry:n tulevia toimintaohjeita ja asiakastiedotusmateriaaleja olisi syytä hyödyntää. Muutoksen voimaantulon jälkeen olisi myös hyvä tehdä uusi tutkimus linjauksen onnistumisesta.

LÄHTEET

Asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta 5.2.2009/66 muutoksineen.

Empower Groupin www-sivut. 2019. Viitattu 8.12.2019. <https://www.empower.fi/>

Energiaviraston www-sivut. 2019. Viitattu 8.12.2019. <https://energiavirasto.fi/>

Direktiivi 2009/72/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/72/EY, annettu 13 päivänä heinäkuuta 2009, sähkön sisämarkkinoita koskevista yhteisistä säännöistä ja direktiivin 2003/54/EY kumoamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti L 211, 14.8.2009, 55–93. Viitattu 17.10.2019. <https://eur-lex.europa.eu/>

Direktiivi 2012/27/EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2012/27/EU, annettu 25 päivänä lokakuuta 2012, energiatehokkuudesta, direktiivien 2009/125/EY ja 2010/30/EU muuttamisesta sekä direktiivien 2004/8/EY ja 2006/32/EY kumoamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti L 315, 14.11.2012, 1–56. Viitattu 17.10.2019. <https://eur-lex.europa.eu/>

Direktiivi 2019/944. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2019/944, annettu 5 päivänä kesäkuuta 2019, sähkön sisämarkkinoita koskevista yhteisistä säännöistä ja direktiivin 2012/27/EU muuttamisesta (uudelleenlaadittu). Euroopan unionin virallinen lehti L 158, 14.6.2019, 125–199. Viitattu 17.10.2019. <https://eur-lex.europa.eu/>

Fortum Oyj:n www-sivut. 2019. Viitattu 15.11.2019. <https://www.fortum.fi/>

Heinimäki, R. 2018. Energiateollisuus ry:n lausunto älyverkkotyöryhmän loppuraportista. Energiateollisuus ry. Viitattu 4.12.2019. <https://energia.fi>

Isoviita, T. 2019. Käyttöpäällikkö, Pori Energia Sähköverkot Oy. Pori. Haastattelu 19.11.2019. Haastattelijana Anna Koota. Muistiinpanot haastattelijan hallussa.

Järventausta, P., Heinimäki, R., Lehto, I., Lindroos, M., Pylvänäinen, J. & Hyvärinen, M. 2018. Kuormanohjausrajapinta AMR-mittarin kautta toteutettaviin ohjauksiin. Työ- ja elinkeinoministeriö. Raportti. Viitattu 15.11.2019. <https://tem.fi/alyverkot>

Järventausta, P., Repo, S., Trygg, P., Rautiainen, A., Mutanen, A., Lummi, K., Supponen, A., Heljo, J., Sorri, J., Harsia, P., Honkiniemi, M., Kallioharju, K., Piikkilä, V., Luoma, J., Partanen, J., Honkapuro, S., Valtonen, P., Tuunanen, J. & Belonogova, N. 2015. Kysynnän jousto - Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiöille (DR pooli): Loppuraportti. Tampereen teknillinen yliopisto. Viitattu 9.10.2019. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-3485-0>

Kyytsönen, J. 2017. Sähkönkulutus sääätöjärjestelmällä halpoihin tunteihin – satasten säästö omakotitaloille. Maaseuduntulevaisuus. Viitattu 15.11.2019. <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/talous/artikkeli-1.216482>

Luukko, T. 2018. Seuraavan sukupolven AMR-järjestelmän asiakas- ja markkinaintegraatioiden kehittäminen. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Viitattu 18.10.2019. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:ty-201805241814>

Mäkinen, T. 2014. Etäluentaprojektin loppuraportti. Pori Energia Sähköverkot Oy:n sisäinen dokumentti.

Mäkinen, T. 2016. Etäluenta – Perusteita toimintaympäristöstä. Pori Energia Sähköverkot Oy:n sisäinen dokumentti.

Mäkinen, T. Opinnäytetyön lähdemateriaalia. Vastaanottaja: Koota, A. Lähetetty 29.8.2019 klo 14.57. Viitattu 1.10.2019.

Mäkitalo, I. 2019. Asiakkuuspäällikkö, Pori Energia Sähköverkot Oy. Pori. Haastattelu 31.10.2019. Haastattelijana Anna Koota. Muistiinpanot haastattelijan hallussa.

Oinonen, J. 2019. Kysyntäjoustotuotteet pienasiakkaille. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Viitattu 15.11.2019. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201901152187>

Pahkala, T., Uimonen, H., Väre, V. 2018a. Älyverkkotyöryhmän ehdotukset ja niiden tarkemmat perustelut. Työ- ja elinkeinoministeriö. Älyverkkotyöryhmän loppuraportin liite 1. Viitattu 25.9.2019. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-346-7>

Pahkala, T., Uimonen, H., Väre, V. 2018b. Joustava ja asiakaskeskeinen sähköjärjestelmä; Älyverkkotyöryhmän loppuraportti. Työ- ja elinkeinoministeriö. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 33/2018. Viitattu 25.9.2019. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-346-7>

Peipponen, H. 2019. Kuormanohjauksen käyttötapaukset. Vastaanottaja: Mäkinen, T. Lähetetty 29.11.2019 klo 16.25. Viitattu 10.12.2019.

Peipponen, H. 2019. Älyverkkotyöryhmän loppuraportti: Kuormanohjaus. Vastaanottaja: Mäkinen, T. Lähetetty 6.9.2019 klo 9.28. Viitattu 10.12.2019.

Pori Energia Oy:n www-sivut. Viitattu 9.12.2019. <https://www.porienergia.fi/>

Pöyry 2017. Seuraavan sukupolven älykkäiden sähkömittareiden vähimmäistoiminnallisuudet. AMR 2.0 loppuraportti. 15.12.2017. Viitattu 18.10.2019. <https://tem.fi/alyverkot>

Seppälä, A. 2014. Työmaakeskuskäytäntö siirryttäessä etämittaukseen ja tuntitasehallintaan. Pori Energia Sähköverkot Oy:n sisäinen dokumentti.

Suomen Lähienergialiitto ry:n www-sivut. 2019. Viitattu 8.12.2019. <https://www.lahienergia.org/>

Sähkömarkkinalaki 9.8.2013/588 muutoksineen.

There Corporation Oy:n www-sivut. 2019. Viitattu 15.11.2019. <https://www.there.fi/>

Tuntimittauksen periaatteita. 2016. Energiateollisuus ry. Viitattu 1.10.2019.
<https://energia.fi>

Wessman, S. 2019. Jakeluverkkoyhtiöiden kuormanohjauksesta luopuminen. Vastaa-
nottaja: Mäkinen. T. Lähetetty 3.9.2019 klo 9.50. Viitattu 8.12.2019.

Vähittäismarkkinoiden menettelytapojen kehitysryhmän pöytäkirja 19.11.2019. Viitattu 8.12.2019. <https://energia.fi>